精準農業共同試驗田區農耕資料庫之建立

劉滄棽*[1]、蔡金川[2]、張義璋[3]、余志儒[4]、陳治官[5]
[1]行政院農業委員會農業試驗所農化組
[2]行政院農業委員會農業試驗所農工組
[3]行政院農業委員會農業試驗所植病組
[4]行政院農業委員會農業試驗所應動組
[5]行政院農業委員會農業試驗所農藝組
E-mail: tsliu@wufeng@wufeng.tari.gov.tw

摘要 ---------- 146
一、前言 ---------- 146
二、計畫共用試驗田區之規劃 ---------- 147
三、氣象資料記錄 ---------- 147
四、病害調查、記錄及管理決策 ---------- 149
五、蟲害調查記錄 ---------- 154
六、水稻生育期之調查 ---------- 155
七、全球定位系統與即時定位傳輸技術在精準農業上之應用 ---------- 156
八、共用資料庫網站系統建置 ---------- 158
九、結語 ---------- 158
十、引用文獻 ---------- 158
十一、誌謝 ---------- 159
ABSTRACT ---------- 160

精準農業共同試驗田區農耕資料庫之建立

劉滄棽*[1]、蔡金川[2]、張義璋[3]、余志儒[4]、陳治官[5]
[1]行政院農業委員會農業試驗所農化組
[2]行政院農業委員會農業試驗所農工組
[3]行政院農業委員會農業試驗所植病組
[4]行政院農業委員會農業試驗所應動組
[5]行政院農業委員會農業試驗所農藝組
E-mail: tsliu@wufeng@wufeng.tari.gov.tw

摘要

農委會農試驗所精準農業計畫各研究小組收集的資料項目繁多，資料庫格式不一，在資料之交換上亦造成困擾，且大部分爲地理分佈資料。爲使各項收集資料達到共同使用之效果，如能成立共用資料庫，並訂定資料庫格式規範，架設伺服網站提供網路資料查詢下載，將可增進資料流通效率及減少人力浪費，便於自動化農機開發利用及各應用模組間之資料傳輸。本研究乃持續將土壤及植體之採樣分析資料，以地理資訊系統整合並經地理統計推估空間變異，分別建立各項空間資料庫。此等資料可傳輸至施肥決策專家系統估算各點之施肥量，計算結果經繪製成精密施肥分佈圖，可再傳輸至變率施肥機械來控制各小區之施肥量。由於精準農業之共同試驗田區土壤及植體採樣資料，其取樣位置及密度不同，而有無法匹配之疑慮，因此利用地理統計分析及地理資訊系統建立細密之基本空間資訊，供爲變量施肥機具施用養分資材之依據及產量與施肥管理之相關性研究之基礎。而爲使共同試驗田區之資料充分供給各研究人員利用，乃於農試所往站設置共用資料庫網站，檢視整理各執行人上傳之檔案及資料，再開放計畫相關人員查詢。經由權限設定，讓研究人員自行維護自產資料，並下載相關之非自產資料。網站提供具地理座標之圖形資料，並利用網站之功能提供面積、位置、等級分佈等圖面資料，由高效率之空間資料庫引擎，提供資料交換、流通、全面性的安全管控，達到共享式的多使用者環境，節省管理人力之耗費。

關鍵詞： 網路、資料庫、精準農業。

一、前言

精準農業乃是針對農田及植栽的變異性給予最適當的耕作決策與處理，以減少資財之耗費，增加收益並減輕環境的衝擊。傳統之農耕方式將整個田區之作物、土壤等特性視爲均一，故無論是灌溉水量、肥料或是農藥之施用量，均是針對整個田區施用。精準農業則針對田區間各種作物、土壤、環境因子具空間變異之特性，利用先進的電腦、通信與自動化科技，配合適當時間、空間尺度之田間調查作業及地理資訊系統、空間變異分析模式，精確且全面性地掌握田區作物、土壤與環境特性。進而經由作物模式、決策分析模式，來決定最佳之耕作策略及產量預測，並利用地理資訊系統

建立各種空間分佈圖層，藉由衛星定位與農業自動化科技執行既定之耕作策略。例如，經自動記錄分析各別小田區的作物產量與耕作處理間的相關性，產生產量變異分佈圖，以做為農場經營決策的參考。

水稻病蟲害的發生，受到栽培、品種、肥培管理、氣象、土壤環境等因素的影響，通常仍先由定點(site-specific)再行衍化蔓延而侵襲至廣大區域。因此，如何界定病蟲害危害之空間分佈，爲水稻精準農耕要項之一，即所謂特定田間的病蟲害管理或定點病蟲害管理所必須建立的工作。然病蟲害之精準管理在研發上仍不如精準施肥之進步，主要爲病蟲發生不整齊且又零碎分佈；病蟲之發生生態複雜，病蟲之分佈因時間及空異差別而有較大變異。傳統上病蟲危害調查係由人工取樣，甚爲耗費人力與時間，亦造成監測成本高昂，加上現行遙感探測技術尚未達精準階段，仍以一般方式的噴藥經濟效益較高，這也是造成病蟲害精準管理發展較爲緩慢的原因。通常採行的病蟲害監測樣本以大尺度取樣方式爲主，以節省監測所須付出之成本，而歐美國家對於病蟲害防治之精準管理也因此採用大區化的方式處理。此外，在推估必須做變異處理的區域，也有以某一較易獲得屬性資料的小區，去推估特定疫病蟲危害的邊界(boundary)。

二、計畫共同試驗田區之規劃

依需求之資料項目與資料格式，協商訂定精準農業共用性資料庫格式規範，避免重覆造成資源浪費。精準農業共同試驗田區位於農試所農場之 38、39、42、43、74、75、76、77、78、79、80、81、82、83、84、85、86、87、88、89 號田，如圖 1，其中 74、75 號田面積較大，分別爲 0.64 及 0.78 公頃，其他田區面積約爲 0.5 公頃，爲配合遙測小組處理遙測影像資料之需求，並使各分組調查時便於確認調查位置，將各田區分爲 25×25 公尺之小區，另土壤小組爲求土壤之變異劃定 12.5×12.5 公尺之網格，如圖 1。

三、氣象資料記錄

2000 年水稻試驗期間一期作臺農 67 號之各生育期（分蘗、幼穗形成、孕穗及穀粒充實期）之溫度，自分蘗期低溫（19.8℃）、低日射量（10.2 MJ m^{-2} day^{-1}）隨生育期之後移，逐漸上昇至穀粒充實期爲高溫（26.7℃）、高日射量（14.3 MJ m^{-2} day^{-1}）。而二期作則自分蘗期之高溫(28.8℃)、高日射量(12.5 MJ m^{-2} day^{-1})，因生育期之後移逐漸下降至抽穗期爲較低溫(26.2℃)、低日射量（11.4 MJ m^{-2} day^{-1}）。一期作臺農 67 號在分蘗期間之氣象因素與產量之關係式：Y_1（產量 kg ha^{-1}）$=75.26+0.61^{**}X_2$（均溫），至於 2000 年之二期作試驗，已抽穗後進入穀粒充實期，臺農 67 號之生育日數(Y_3：移植－抽穗)與平均溫度之關係式：$Y_3=280.55-7.55^{**}X_2$。

2001 年水稻試驗期間一期作臺農 67 號之各生育期(分蘗、幼穗形成、孕穗及穀粒充實期）之溫度，自分蘗期低溫(均溫：20.2℃)、低日射量（11.6 MJ m^{-2} day^{-1}）隨生育期之後移，逐漸上昇至穀粒充實期爲高溫（27.4℃）、高日射量（15.1 M Jm^{-2} day^{-1}）。而二期作則自分蘗期之高溫（30.8℃）、高日射量（15.5 MJ m^{-2} day^{-1}），因生育期之後移逐漸下降至抽穗期爲較低溫（25.8℃）、低日射量（11.2 MJ m^{-2} day^{-1}）。一期作臺農 67 號在分蘗期間之氣象因素與產量之關係式：Y_1（產量 kg ha^{-1}）$=82.31+0.75^{**}X_2$（均溫），至於 2001 年之二期作試驗，已抽穗後進入穀粒充實期，台農 67 號之生育日數（Y_3：移植－抽穗）與平均溫度之關係式：$Y_3=272.12-8.39^{**}X_2$。

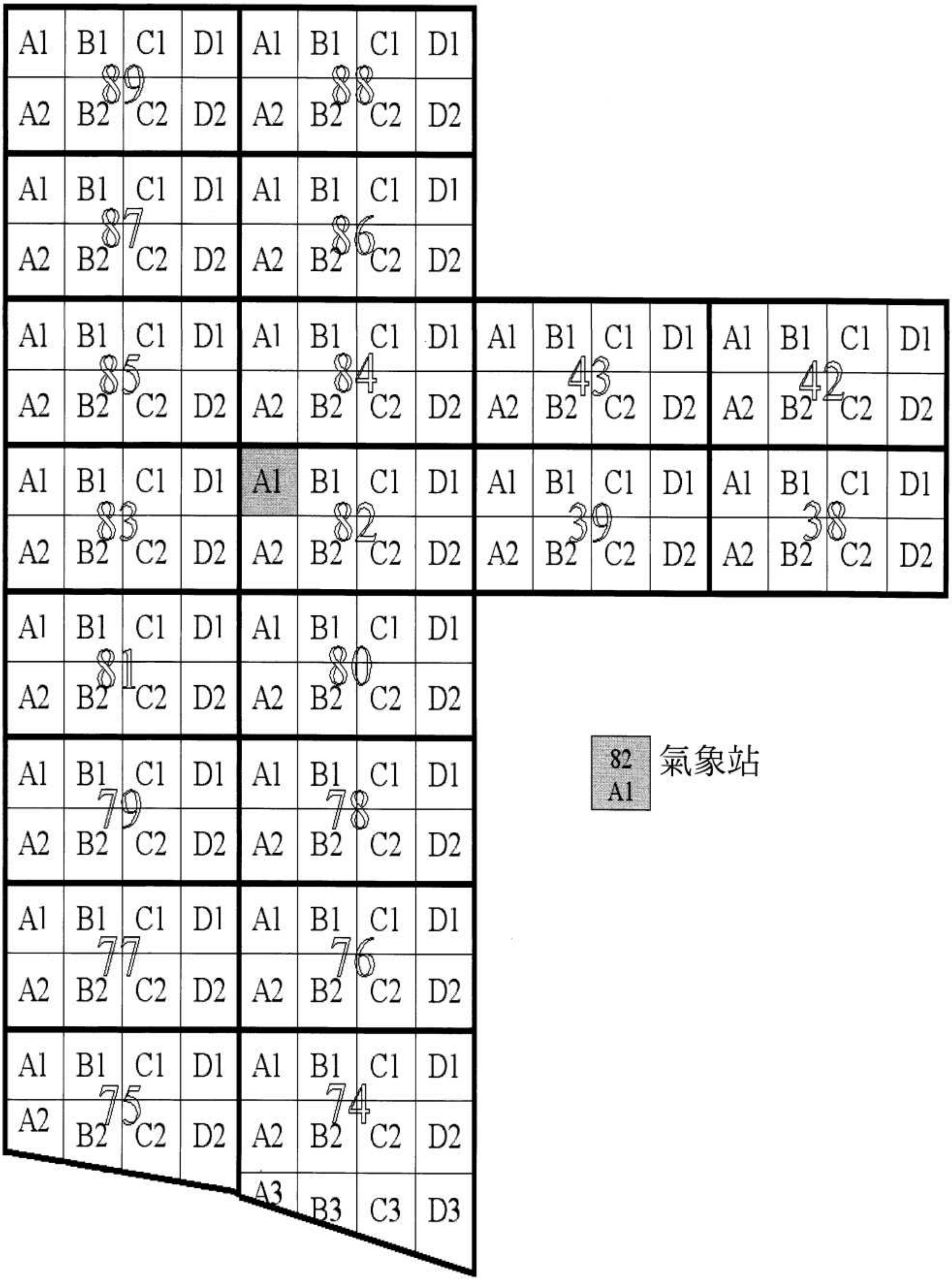


圖 1.、精準農業共同試驗田區各小區編號配置圖。

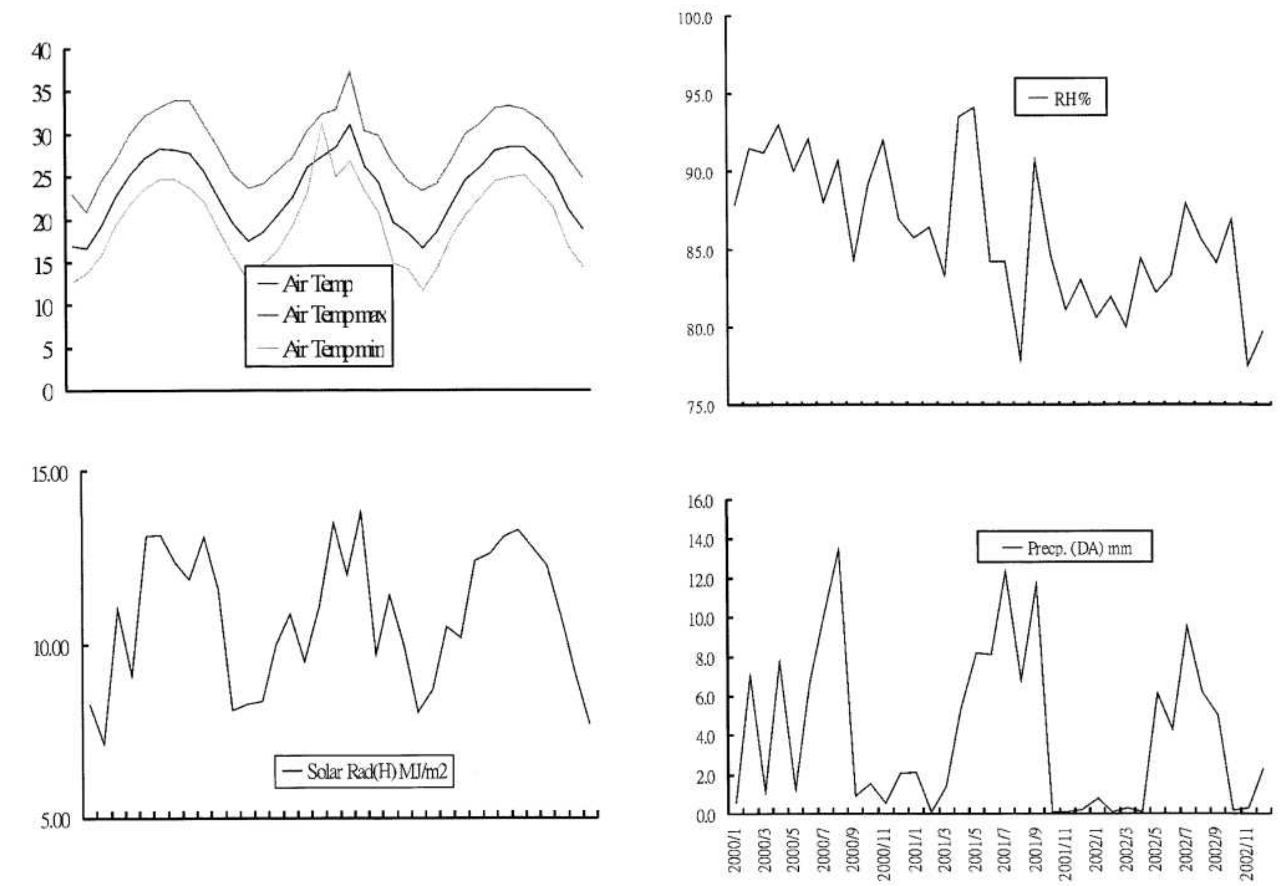


圖 2. 共同試驗田區每月平均最高溫、最低溫、平均溫度、相對溼度、日射量及降水量變化。

2002 年水稻試驗期間一期作臺農 67 號之各生育期（分櫱、幼穗形成、孕穗及穀粒充實期）之溫度，自分櫱期低溫（均溫：23.5℃）、低日射量（8.6 MJ m^{-2} day^{-1}）隨生育期之後移，逐漸上昇至穀粒充實期爲高溫（27.8℃）、高日射量（16.2 MJ m^{-2} day^{-1}）。而二期作則自分櫱期之高溫（27.9℃）、高日射量（13.2 MJ m^{-2} day^{-1}），因生育期之後移逐漸下降至抽穗期爲較低溫（26.2℃）、低日射量（12.6 MJ m^{-2} day^{-1}）。一期作臺農 67 號在分櫱期間之氣象因素與產量之關係式：Y_1（產量 kg ha^{-1}）$=65.26+0.81^{**}X_2$（均溫），至於二期作試驗，臺農 67 號之生育日數（Y_3：移植－抽穗）與平均溫度之關係式：$Y_3=272.12-8.39^{**}X_2$ (如圖 1) 所示。

四、病害調查、記錄及管理決策

分別於水稻分櫱期、抽穗期及成熟期三個生育期，調查記錄稻熱病、白葉枯病及紋枯病之發病叢率及罹病度。稻熱病與白葉病均以發病佔葉面積之百分率爲判定依據，紋枯病則以病斑佔稻株高率爲依據。稻熱病發病面積 1 %以下爲 1 級、2 %以下爲 3 級、10%爲 5 級、10-25％爲 6 級、26-50%爲 7 級、51-75 %爲 8 級、植株死亡爲 9 級。稻白葉枯病發病面積 1 %以下爲 1 級、1-5 %爲 3 級、6-25 %爲 5 級、26-50%爲 7 級、51-100%爲 9 級。紋枯病斑佔葉鞘高率 1-25％爲 1 級、26-50％爲 3 級、51-75％爲 5 級、75％以上爲 9 級、所有葉片均受嚴重發病爲 9 級。

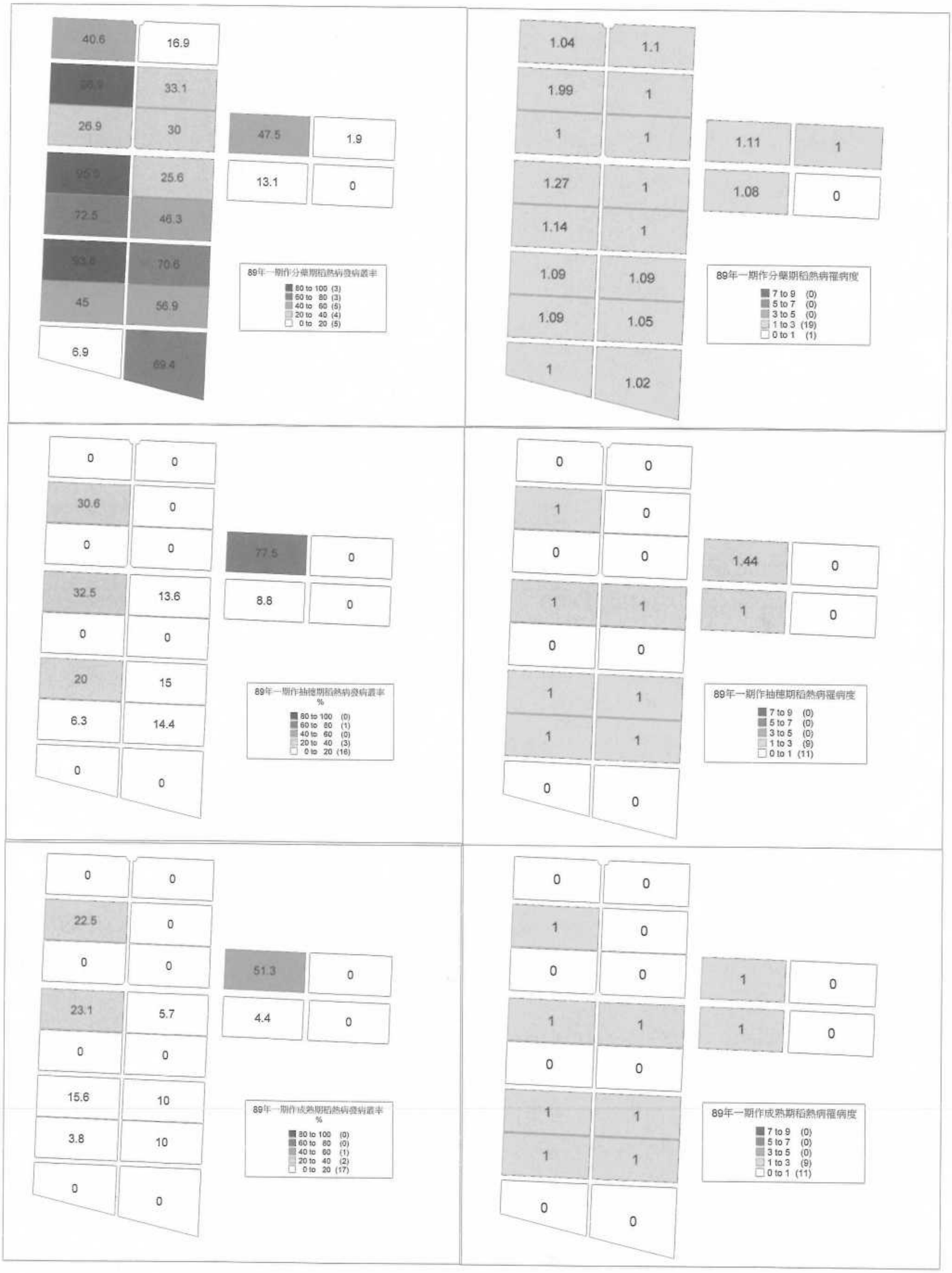


圖 3. 2000 年一期作共同試驗田 74-89 號等 16 個試區之稻熱病發病叢率及罹病度

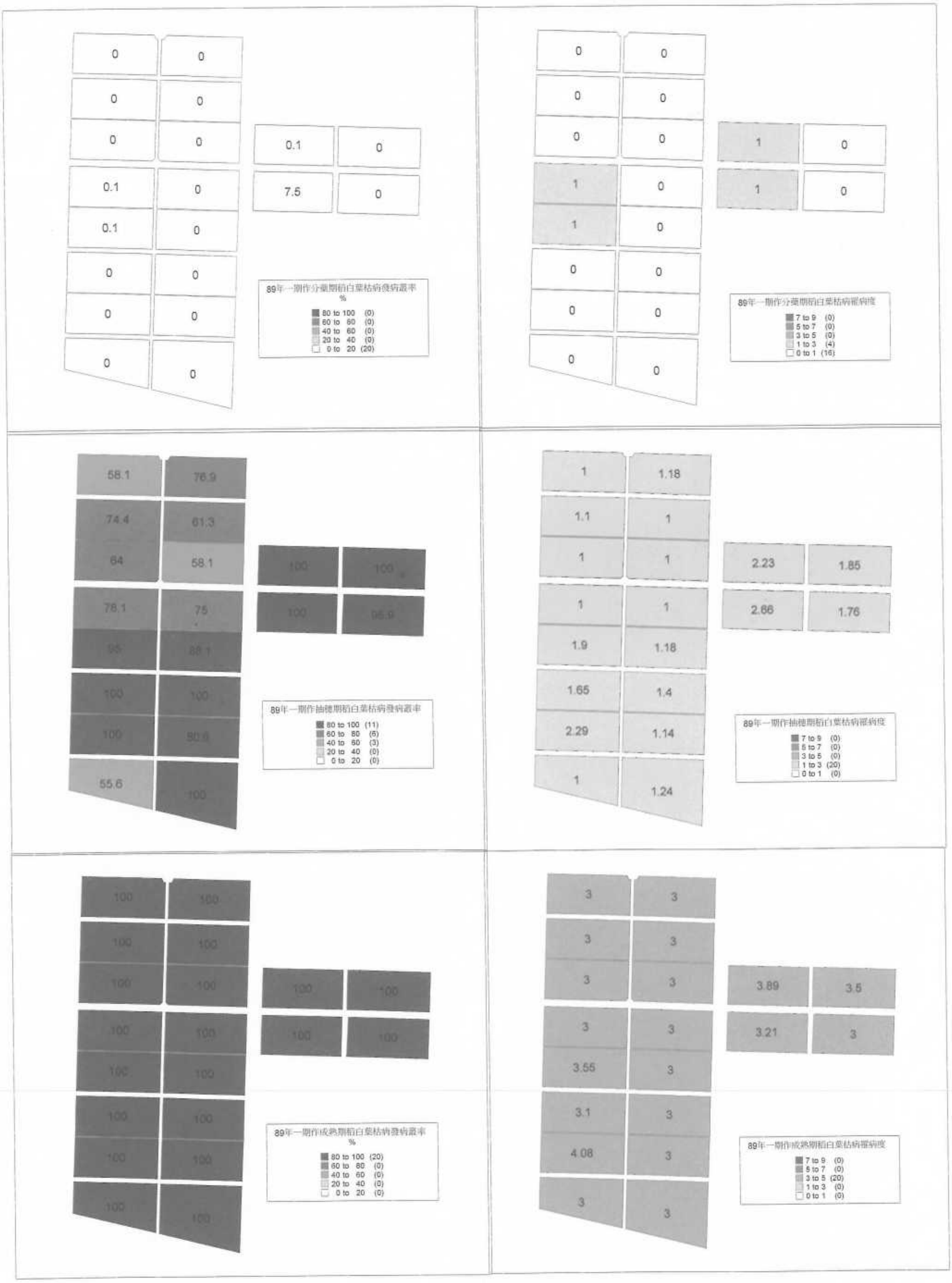


圖 4. 2000 年一期作共同試驗田 74-89 號等 16 個試區之白葉枯病發病叢率及罹病度。

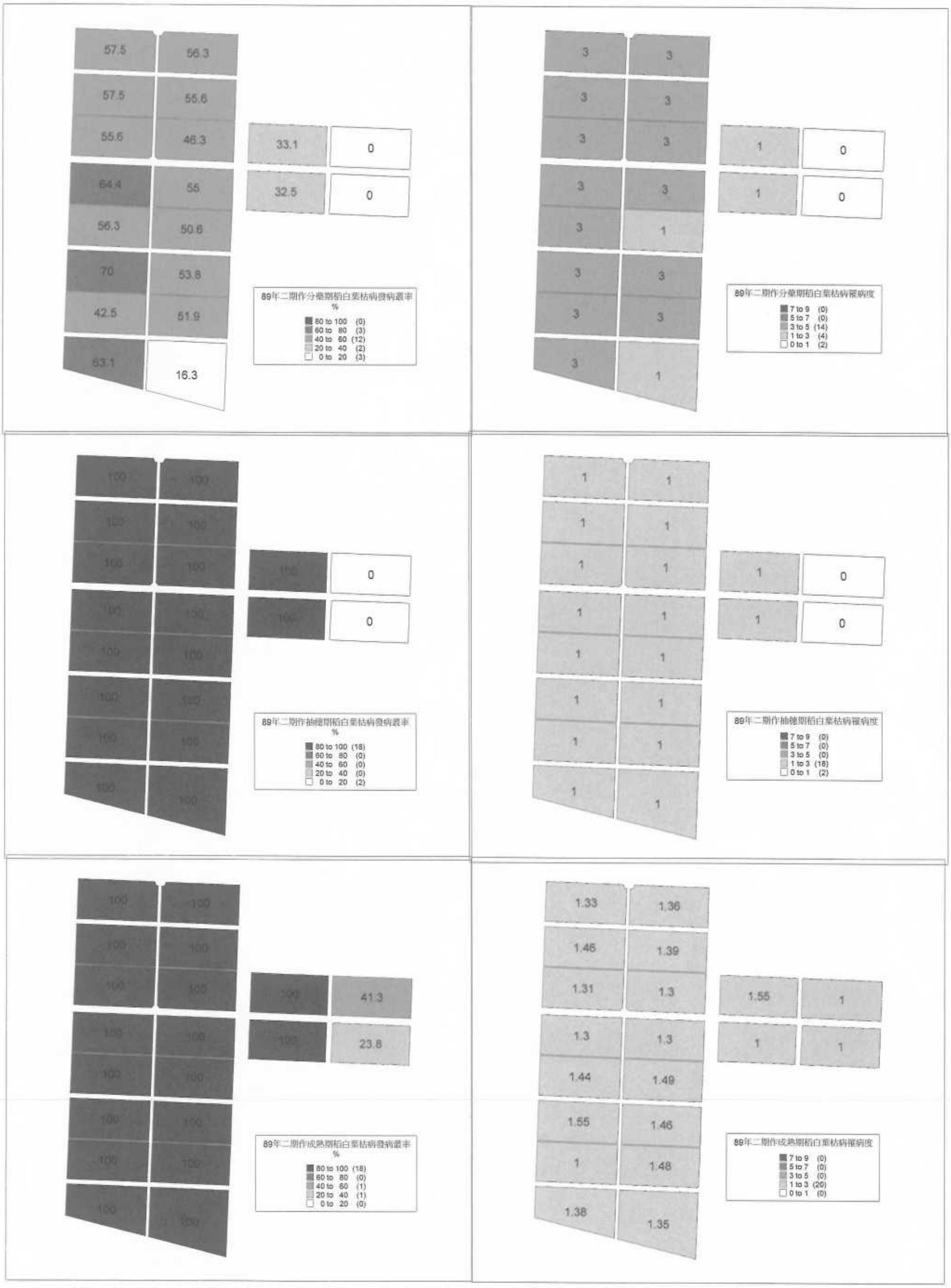


圖 5. 2000 年二期作共同試驗田 74-89 號等 16 個試區之白葉枯病發病叢率及罹病度。

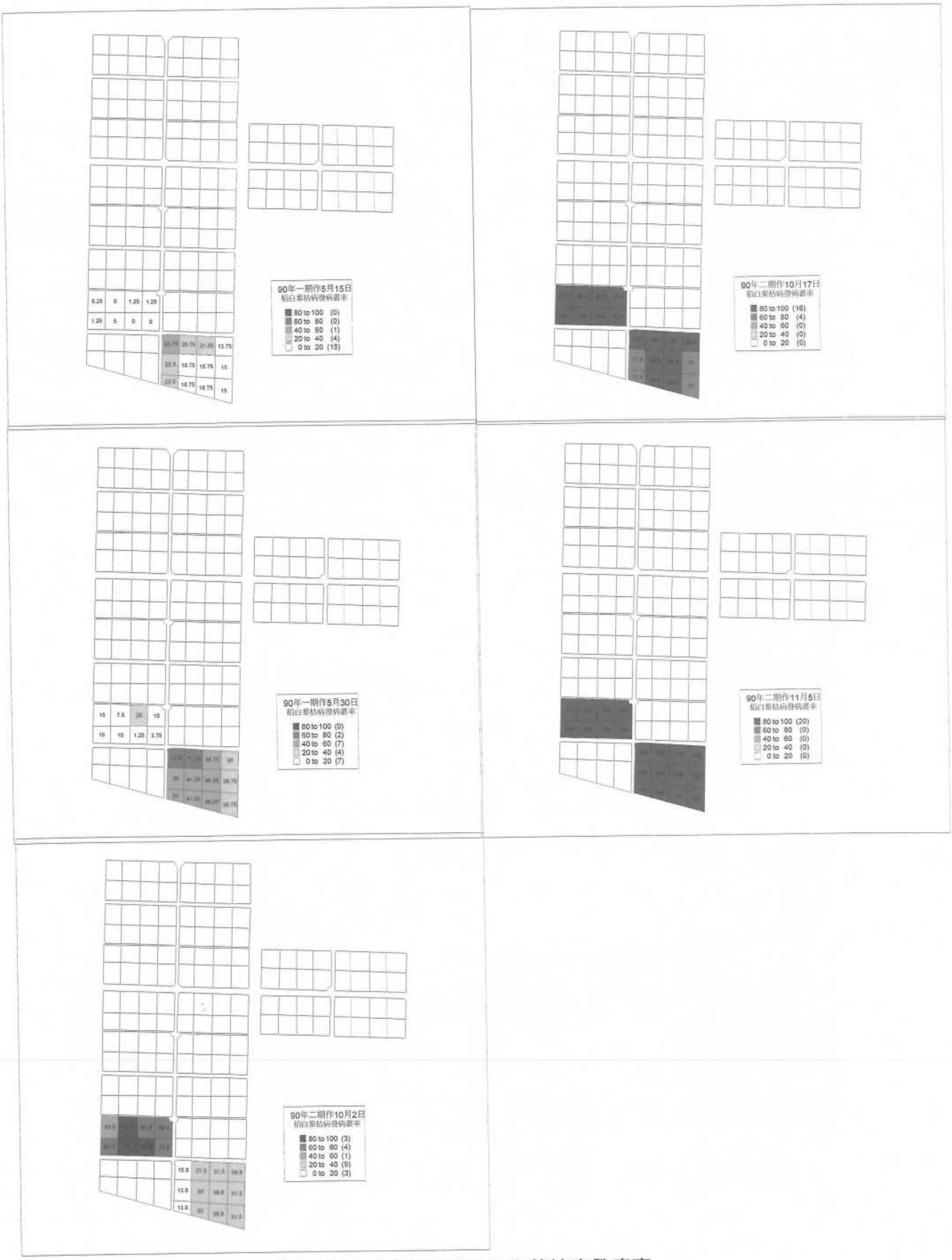


圖 6. 74 及 77 號田 2001 年白葉枯病發病率。

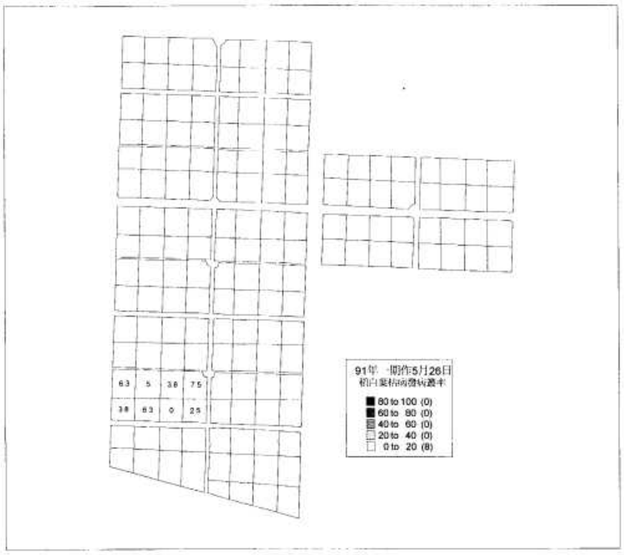


圖 7.　74 號田 2002 年 5/24 調查白葉枯病發病叢率。

五、蟲害調查記錄

於農試所農場之精準農業共同試驗田區中選取 2 塊各 0.5 公頃面積之田區，除不施殺蟲劑外其他管理方式皆與其餘田區相同。每期作自插秧後第 30 天開始，每 7 天目測調查一次，至採收為止。本試驗田區共劃分為 64 小區，小區面積為 12.5×12.5 m^2。每小區逢機取樣 5 個點，每採樣點取緊鄰 6 叢。調查以褐飛蝨與瘤野螟為主要對象，瘤野螟計數為害稻葉數，二化螟及大螟等計數為害稻櫱數，褐飛蝨及其他飛蝨類、葉蟬類則以目測方式計數或估測其成蟲與若蟲數，有若有其他害蟲附記之。

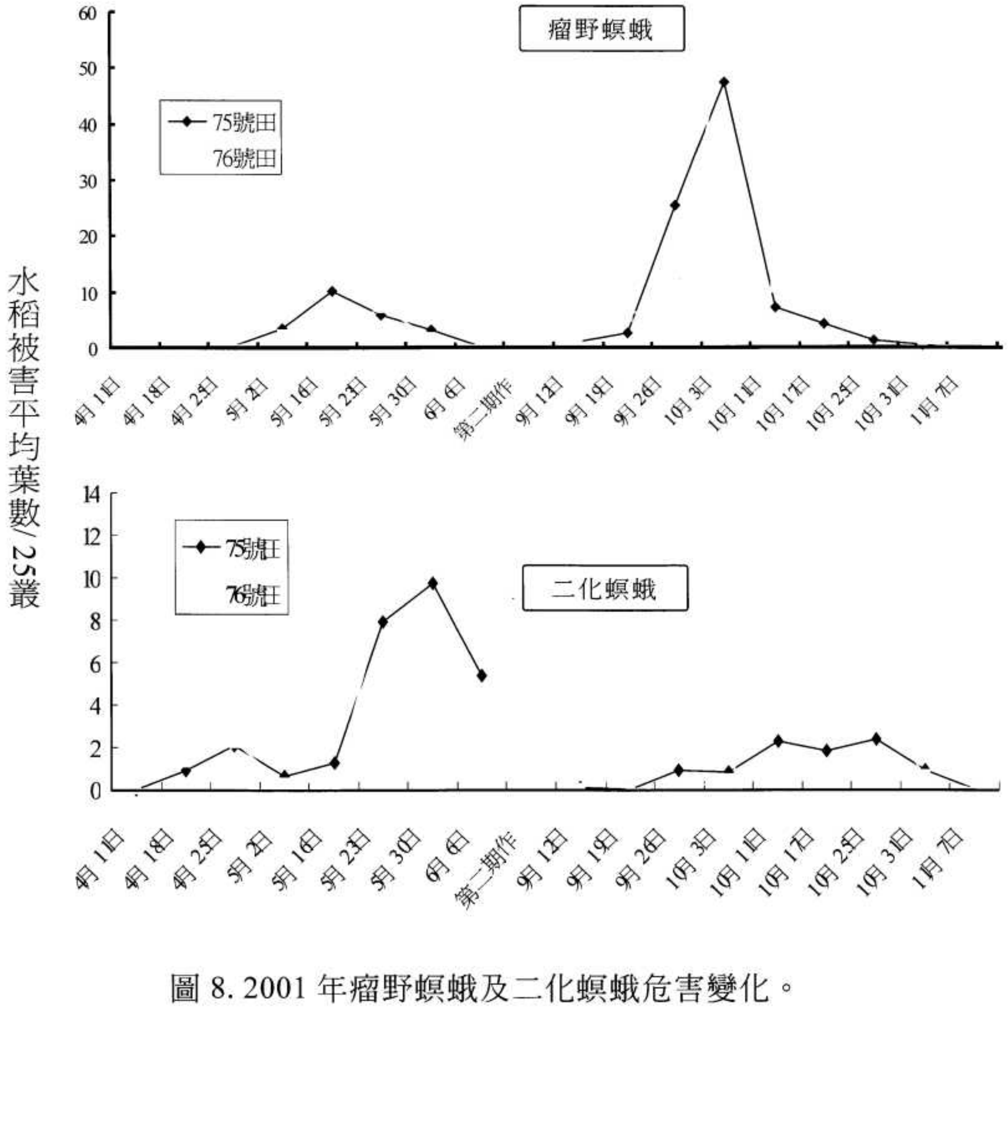


圖 8. 2001 年瘤野螟蛾及二化螟蛾危害變化。

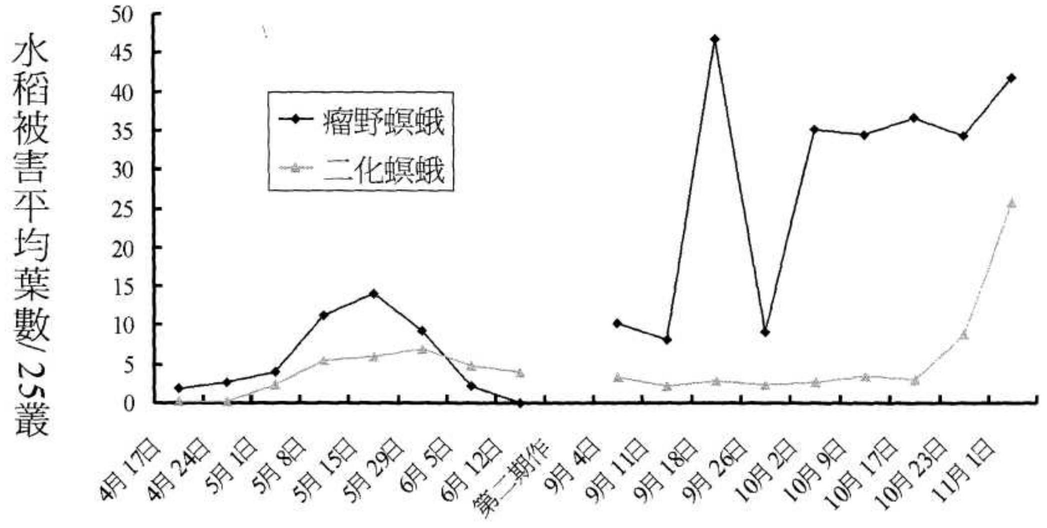


圖 9. 2002 年瘤野螟蛾及二化螟蛾危害變遷。

六、水稻生育期之調查

農委會農業試驗所農場設立之 10 公頃精準農業共同試驗研究田區（163 處記錄點，25 m X 25 m 爲一單位）水稻栽培，係依照中部地區慣行方法實施。觀察與登錄達各生育期（分蘗始期、最高分蘗期、始穗期、抽穗期、齊穗期）之日期及生育情形(表 1、2、3)。

表 1. 八十九年第一期作繁殖材料達各生育階段之日數。

田區	移植期	分蘗始期(天)	最高分蘗期(天)	幼穗形成期(天)	始穗期(天)	50%抽穗期(天)	齊穗期(天)	黃熟期(天)	成熟期(天)	倒伏率(%)
38	2/18，2/28	24	47	56	82	86	90	101	127	0
39	3/29	11	48	56	71	81	85	93	117	0
42	2/16	24	45	60	85	90	93	105	131	0
43	2/17	23	44	63	91	93	97	109	130	46
74	2/14	25	43	61	86	90	93	107	127	1
75	2/14	25	43	62	87	91	95	109	128	1
76	2/15	23	42	61	86	91	94	106	128	1
77	2/15	22	42	60	86	90	93	106	128	9
78	2/14	22	42	62	86	91	94	107	129	2
79	2/15	21	41	60	86	89	93	106	131	13
80	2/16	22	42	59	83	87	90	105	130	8
81	2/16	21	42	59	84	89	92	105	130	6
82	2/17，3/24	18	42	57	80	85	89	101	128	4
83	2/16	22	42	60	86	89	93	106	132	0
84	2/14	24	46	61	84	88	91	107	126	3
85	2/15	23	43	60	83	88	91	106	127	1
86	2/14	24	44	60	85	89	92	107	127	0
87	2/16	22	42	61	87	91	96	107	132	41
88	2/14	24	44	61	85	90	93	107	126	3
89	2/16	23	42	60	85	89	92	105	124	3
平均		22	43	60	84	89	92	106	128	7

表 2. 八十九年第二期作繁殖材料達各生育階段之日數。

田區	移植期月/日	分蘗始期(天)	最高分蘗期(天)	幼穗形成期(天)	始穗期(天)	50%抽穗期(天)	齊穗期(天)
38	8/15	14	35	39	61	71	-
39	8/3	15	34	45	62	67	73
42	8/15	15	35	44	62	70	-
43	8/3	15	33	45	62	66	73
74	8/1	14	33	47	61	65	73
75	8/2	14	35	47	59	65	72
76	8/2	14	34	47	60	65	72
77	8/2	14	35	47	60	64	72
78	8/2	14	36	48	62	67	73
79	8/2	13	33	47	60	65	72
80	8/2	15	34	48	60	65	73
81	8/2	15	34	48	62	66	73
82	8/3	15	33	47	61	65	72
83	8/1	14	34	48	61	66	73
84	7/31	14	33	48	62	67	75
85	8/1	14	33	47	61	61	74
86	8/1	14	32	47	61	61	74
87	8/1	14	32	47	60	60	74
88	8/1	13	32	47	61	61	74
89	8/1	14	31	47	60	60	74
平均		14	33	47	61	65	73

-：未達齊穗期。

表 3. 九十年第一、二期作台農 67 號各生育階段之生育日數。

田區	第一期作					第二期作			
	分蘗始期(天)	最高分蘗期(天)	始穗期(天)	50%抽穗期(天)	齊穗期(天)	最高分蘗期(天)	始穗期(天)	50%抽穗期(天)	齊穗期(天)
38	19	41	80	86	92	40	63	67	71
39	19	41	83	88	93	40	60	66	70
42	19	42	83	88	93	39	61	65	69
43	21	42	82	86	91	42	60	71	73
74	20	44	80	83	89	38	57	62	67
75	19	42	80	85	89	40	59	65	70
76	20	43	80	85	89	38	59	64	66
77	20	44	80	85	90	39	59	63	67
78	20	43	81	85	89	38	59	64	68
79	18	43	79	84	87	38	61	65	68
80	20	44	80	85	89	38	59	64	67
81	21	44	80	85	90	43	60	69	73
82	20	43	93	85	90	37	58	63	67
83	20	43	80	84	89	41	61	67	72
84	19	42	80	84	89	40	59	65	69
85	19	42	80	84	89	38	59	65	70
86	19	41	79	83	88	36	61	64	67
87	20	43	81	85	90	41	61	69	73
88	19	41	80	85	89	37	59	63	67
89	20	42	81	85	89	38	59	62	66
最低	18	41	79	83	87	36	57	62	66
最高	21	44	93	88	93	43	63	71	73
平均	20	43	81	85	90	39	60	65	69

七、全球定位系統與即時定位傳輸技術在精準農業上之應用

於農委會農業試驗所農化組頂樓及精準農業十公頃共同試驗田區附近，各建立二個適當之基地站位置，並委託民間測量公司精密測定座標，可以供作每次採樣及施肥時動態插分定位所需。建立全球定位系統之基地站後，即可發展即時定位技術，藉以推廣及應用精準農業之相關研究事項。將空間資料與屬性資料相互結合，並普遍應用於農耕機械上，則可進一步達到農耕自動化控制的目標。

1.參考站

參考站(如圖 10 所示)必須先有一已知控制點位的 WGS-84 經緯度座標，然後在該控制點位上架設 GPS 天線，主要的目的在接收該位置的 GPS 訊息，傳遞至 GPS 接收器上，而 GPS 接收器已知該控制點位置，經解算求得觀測量之相位與誤差值，透過無線電數據機調制成訊號，透過天線廣播給其他使用者接收解調，讓使用者能獲得更高的定位精度。

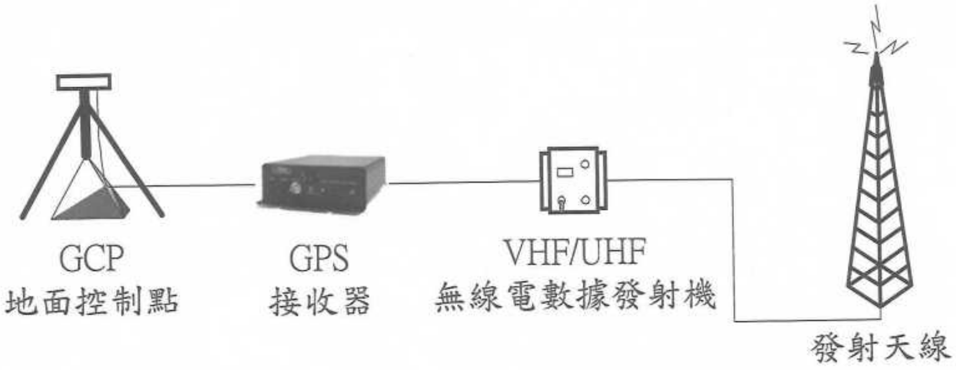


圖 10. 全球衛星定位系統參考站設置圖示。

2.移動站

移動站 (如圖 11 所示) 接收到由參考站傳來之修正資料後，經無線電數據接收機解調後，將資料傳遞給 GPS 接收器，與本身所接收衛星資料進行 RTK，解算出精確座標後，將定位資訊 NMEA 0183 Version 2.0 / 2.1 格式傳遞給電腦，電腦除了在螢幕之電子地圖上顯示即時位置外，並可搜尋該位置所對應的屬性資料，以進一步達成農機自動化系統控制。

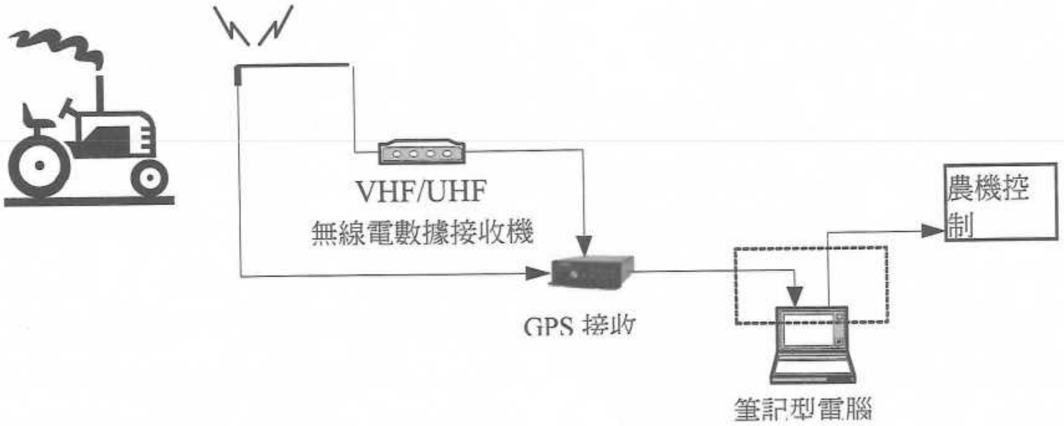


圖 11. 全球衛星定位系統移動站圖示。

八、共用資料庫網站系統建置:

精準農業網站之功能架構包含有計畫主持人專頁、田間活動日誌、各分組頁、年度封存功能、地理資訊查詢系統及網站資料維護及相關網站七大功能。原本精準農業網站對於網站資料維護功能是散見於各子系統中，也僅提供修改之功能，現在已增加新增、刪除等功能，並提供完整之帳號、密碼管理系統並提供新增第四層單元提供管理者有更方便及完整網站之功能。其架構圖如圖 12 所示。

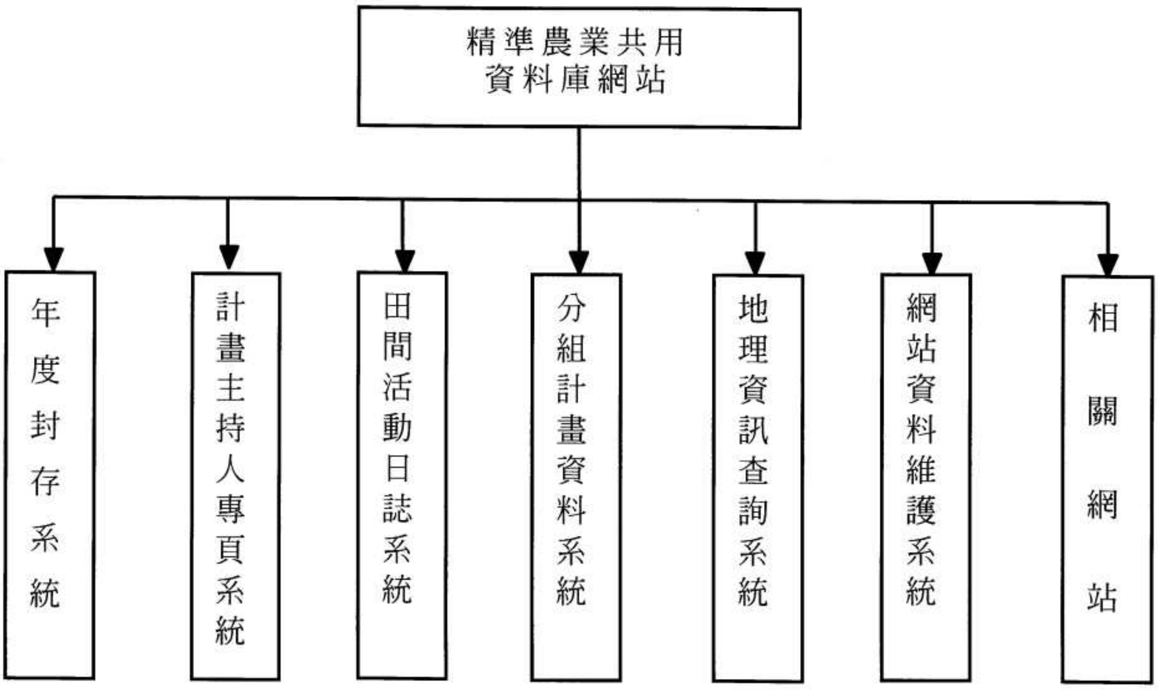


圖 12. 精準農業共用資料庫網站開發架構圖。

九、結語

本計畫執行以來，各小組收集之資料項目繁多，資料庫格式不一，在資料之交換上亦造成困擾，且大部分爲地理分布資料，如能成立共用資料庫，並架設伺服網站提供網路資料查詢下載，將可增進資料流通效率，減少人力浪費。共同試驗田區土壤及植體採樣之分析資料，因取樣位置及密度不同，而有無法匹配之疑慮，利用地理統計分析及地理資訊系統可建立細密之基本空間資訊，供爲變量施肥器施用養分資材之依據及產量與施肥管理之相關性研究之基礎。

十、引用文獻

李長沛、陳治官、黃惠娟、賴明信、曾清山、郭益全。2000。水稻農作資料庫之建立－全生育各期之觀察與記錄。行政院農業委員會委託(計畫 89-遙測-4.1-糧-4(3)。

蔡金川、漆匡時、姚銘輝。2000。水稻農作資料庫之建立－氣象資料記錄。行政院農業委員會委託計畫(89-遙測-4.1-糧-4(1)。

張義璋、謝麗娟。2000。水稻農作資料庫之建立－病害調查、記錄及管理決策。行政院農業委員會委託計畫(89-遙測-4.1-糧-4(5)。

余志儒。2000。水稻農作資料庫之建立－蟲害調查記錄與管理決策。行政院農業委員會委託計畫(89-遙測-4.1-糧-4(6)。

劉禎祺、劉滄棽、朱戩良、郭鴻裕、葉明智。2000。水稻精準農業(耕)體系之研究－地理資訊及衛星定位系統在精準農業上之應用：(1)建立全球衛星定位系統基地站及即時定位傳輸技術。行政院農業委員會委託計畫 (89-遙測-4.1-糧-4(3))。

劉滄棽、郭鴻裕、朱戩良、劉禎祺、葉明智。2000。水稻精準農業(耕)體系之研究－地理資訊及衛星定位系統在精準農業上之應用：(4)建立精準農業田區之資訊庫及共用性資料庫格式資料傳輸規範。行政院農業委員會委託計畫 (89-遙測-4.1-糧-4(3))。

陳治官、李長沛、黃惠娟、賴明信、曾清山、楊舒惠。2001。水稻栽培與環境精準管理專家決策系統—水稻生育期之調查。行政院農業委員會農業試驗所自行研究計畫(90 農科-4.1.3-農-C1(02))。

余志儒。2001。水稻栽培與環境精準管理專家決策系統—蟲害調查、記錄及管理決策。行政院農業委員會農業試驗所自行研究計畫 (90 農科-4.1.3-農-C1(02))。

張義璋、謝麗娟。2001。水稻栽培與環境精準管理專家決策系統－病害調查、記錄及管理決策。行政院農業委員會農業試驗所自行研究計畫 (90 農科-4.1.3-農-C1(02))。

蔡金川、淥匡時、姚銘輝。2001。水稻栽培與環境精準管理專家決策系統－氣象資料記錄。行政院農業委員會農業試驗所自行研究計畫 (90 農科-4.1.3-農-C1(02))。

劉滄棽、郭鴻裕、朱戩良、劉禎祺、葉明智。2001。水稻栽培與環境精準管理專家決策系統－精準農耕綜合資料庫及網站建置。行政院農業委員會農業試驗所自行研究計畫 (90 農科-4.1.3-農-C1(02))。

劉滄棽、郭鴻裕、朱戩良、劉禎祺、葉明智。2002。水稻栽培與環境精準管理專家決策系統－精準農耕綜合資料庫及網站建置。行政院農業委員會農業試驗所自行研究計畫 (91 農科-5.1.3-農-C2(2))。

余志儒。2002。水稻栽培與環境精準管理專家決策系統—蟲害調查、記錄及管理決策。行政院農業委員會農業試驗所自行研究計畫 (91 農科-5.1.3-農-C2(2))。

張義璋、謝麗娟。2002。水稻栽培與環境精準管理專家決策系統－病害調查、記錄及管理決策。行政院農業委員會農業試驗所自行研究計畫 (91 農科-5.1.3-農-C2(2))。

蔡金川、淥匡時、姚銘輝。2002。水稻栽培與環境精準管理專家決策系統－氣象資料記錄。行政院農業委員會農業試驗所自行研究計畫 (91 農科-5.1.3-農-C2(2))。

十一、誌謝

本研究承蒙行政院農業委員會委託計畫(計畫89-遙測-4.1-糧-4)及行政院農業委員會農業試驗所科技研究計畫(90 農科-4.1.3-農-C1(02))與(91 農科-5.1.3-農-C2(2))經費支持，特以致謝。

Establishment of Web Site and Collaborative Databse for Precision Agriculture

Tsang-Sen Liu*[1], Jin-Chuan Tsai[2], Yih-Chang Chang[3], Jih-Zu Yu[4] and C.G. Chern[5]

[1]Division of Agricultural Chemistry, Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC

[2]Division of Agricultural Engineering, Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC

[3]Division of Plant Pathology, Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC

[4]Division of Applied Zoology, Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC

[5] Division of Agronomy, Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC

E-mail: tsliu@wufeng@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

One of the key working items for this project was to record the spatial and temporal data generated from field surveys on important agronomy characters and main pest incidences, and meteorological factors for rice plants grown in the experimental plots designated for precision farming study at Taiwan Agricultural Research Institute. Databases established, including rice cultivation practices and growth performance, plant protection procedures on diseases, insect pest and weeds, and climatic data, can be retrieved for applications in topics carried out in the project. A website was also set up to house these databases and served as the communication channel, both for Internet and Intranet users, for the collaborative research works. Data and information posted in the website will be updated frequently.

Key words: Web, Database, Precision agriculture.

精準農業試驗田區 2000-2002 年水稻主要病害之消長

張義璋*、謝麗娟
行政院農業委員會農業試驗所植病組
E-mail: ycchang@wufeng.tari.gov.tw

摘要 ---------- 162
一、前言 ---------- 162
二、調查採樣方法 ---------- 162
三、調查結果 ---------- 163
四、結語 ---------- 163
五、誌謝 ---------- 164
六、引用文獻 ---------- 164
ABSTRACT ---------- 166

精準農業試驗田區 2000-2002 年水稻主要病害之消長

張義璋*、謝麗娟
行政院農業委員會農業試驗所植病組
E-mail: ycchang@wufeng.tari.gov.tw

摘要

臺灣位居亞熱帶，屬高溫多濕海島型氣候，適合各種稻作病原之繁殖及爲害，估計每年因病害造成 6％損失。本研究配合農委會農業試驗所精準農業計畫執行，調查精準農業農場之田間病害發生狀況，提供建立計畫之基礎資料庫及精準農場栽培管理之參考。試驗期間調查稻熱病、紋枯病及白葉枯病等三種主要病害。結果顯示稻熱病主要發生於第一期作，氣候影響罹病程度甚鉅，試驗期間以 2001 年最適合稻熱病之流行。二期稻作均會發生白葉枯病，第二期作比第一期作早發病且嚴重，由農場栽培管理之記錄，白葉枯病在初發生期實施藥劑防治效果最佳。紋枯病因農場管理良好，發病不嚴重。

關鍵詞： 水稻病害、精準農業、稻熱病、白葉枯病。

一、前言

臺灣地處亞熱帶地域，又兼有高溫多濕的海島型氣候，頗適合各種水稻病原之繁殖及爲害。據瞭解每年因病害的損失，災情損失約有6％之譜。

近年來，稻熱病、白葉枯病及稻紋枯病已成爲臺中縣霧峰地區稻作的重要病害，本研究即在調查精準農業計畫試驗期間田區稻作病害之發生，本文記錄 2000-2002 年的資料，希望有助於各相關試驗研究之應用及精準農場栽培管理之參考。

二、調查採樣方法

爲瞭解水稻病害自然發生情形，於 2000、2001 及 2002 年調查水稻主要三種病害，即稻熱病、紋枯病及白葉枯病。精準農業試驗田區設於臺中縣霧峰鄉行政院農業委員會農業試驗所農場內，計有約 10.8 公頃，水稻之栽培係採用一般稻作栽培管理方式。。2000 年調查全部 20 區試驗田，2001 年調查 2 區病害觀察田(不施殺菌劑)，2002 年則調查 1 區未施農藥的試驗田。

分別於水稻生育的分蘗期、抽穗期及成熟期等三個階段，調查記錄稻熱病、白葉枯病及紋枯病之發病叢率及罹病度。稻熱病與白葉枯病均以發病病斑佔葉面積之百分率爲判定依據，紋枯病則以病斑佔水稻植株葉鞘高度的比率爲依據。稻熱病發病面積 1 ％以下爲 1 級、2 ％以下爲 3 級、10％爲 5 級、10-25％爲 6 級、26-50％爲 7 級、51-75％爲 8 級、植株死亡爲 9 級。稻白葉枯病發病面積 1％以下爲 1 級、1-5 ％爲 3 級、6-25％爲 5 級、26-50％爲

7 級、51-100%爲 9 級。紋枯病斑佔葉鞘高率 1-25%爲 1 級、26-50%爲 3 級、51-75%爲 5 級、75%以上爲 9 級、所有葉片均受嚴重發病爲 9 級。

三、調查結果

在所進行的三年調查中,第一期作之調查結果如次:2000 年在 20 區試驗田中,稻熱病以 79、83 及 87 號三區發病最嚴重,分蘗期時發病叢率達 90%以上,但罹病度平均低於 2.0 級,即病葉之罹病面積率在 2%以內。由田間觀察水稻發育,試驗田稻葉呈深綠色者,稻株較易感染稻熱病,此與試驗田之前作物有關。2001 年分蘗期發病最嚴重時,各小區平均罹病叢率都在 80%以上,較前一年嚴重,推測係因三至五月氣候適合稻熱病發生,隨後之發病漸輕。2002 年發病甚輕,分蘗期時大多數罹病叢之罹病度 1 級,最高 3 級,乃因此一時期氣候較乾暖不利於發病之故。隨後病勢亦漸輕微。綜合這三年度的調查結果,第一期作之稻熱病,以水稻分蘗期發病較重,隨後稻熱病病勢蔓延趨緩。當新稻葉長出,罹病度相對降低,故抽穗期及成熟期發病較輕。紋枯病主要發生期在水稻分蘗後期,抽穗期及成熟期之發病叢率及罹病度均有升高趨勢。2000 年至成熟期之發病叢率,20 區試驗田分別爲 3.6-20.6%,惟因有施藥防治,病株罹病度大多控制在 3 級以內,亦即病斑高率低於 50%的稻莖高度。2001 年及 2002 年發病均甚輕微,只在田埂四周發現有少數罹病叢。白葉枯病於 2000 年分蘗期時開始發生,發病叢率低於千分之一,經有霧氣之風及雨水傳播速度快,至抽穗期之發病叢率已超過 50%,成熟期時均達 100%,罹病度最高 5 級,即葉片發病面積率大於 5%。2001 年於分蘗期初發病,以後發病漸重,成熟期時每小區發病叢率最高達 77.5%,發病較前一年嚴重。2002 年因氣候較乾,發病甚輕微,至成熟期時,每小區發病叢率最高爲 7.5%。

第二期作之調查結果,稻熱病於 2000 年和 2001 年並未發現發病,2002 年發病甚輕微。紋枯病害於 2000 年自插秧後一個月初發病,發生於稻叢內側,藥劑防治後病勢明顯降緩。2001 年發病叢率甚低,罹病度亦不高。2002 年未發現害病。白葉枯病於 2000 年的分蘗期初發病,發生於下位葉較幼嫩葉片,罹病度大多 3 級。藥劑防治後病勢明顯趨緩,且隨著水稻分蘗增生,葉片增多,罹病度相對降低。2001 年於分蘗期即有發病,抽穗期時全面發生,至成熟期發病叢率 100%,罹病度最高達 9 級。2002 年初發病時輕微,成熟期稍有進展,小區平均罹病叢率 0-15%,罹病度最高 3 級。

四、結語

臺灣地區的水稻三大主要病害中,稻熱病主要發生於第一期作,發病期間主要從分蘗期至抽穗期。紋枯病及白葉枯病原爲第二期作病害,近年來二期稻作均有發病,嚴重程度受環境及管理影響大,發病期間從分蘗期至成熟期。稻熱病於試驗第一年度(2000 年)並不適合病害之流行,雖然發病叢率高,但罹病度低。2001 年稻熱病害比前一年嚴重,主要因該年三至五月梅雨季節正值稻分蘗中期,綿綿細雨及日夜溫差大,氣候適合稻熱病流行。2002 年因三至五月氣候較乾暖,不適合稻熱病發生,故該年感病輕微。紋枯病爲水稻栽培區的風土病,每期作均會發生,本病利用稻葉交織接觸傳播,所以呈聚集型分佈。由第一年調查結果發現,早期防治可有效控制發病。2001 年及 2002 年發病輕微,可能與耕作管理有關,例如淺水整地可掩埋紋枯病菌核等等。白

葉枯病屬細菌性病害，靠風及水傳播快速。第一年初發病時藥劑防治有效，病勢明顯漸緩。2001 年氣候有利白葉枯病發病，兩期作感病都較前一年嚴重，尤其第二期作有颱風帶來頻繁的風雨，加速白葉枯病發生與蔓延。2002 年氣候乾燥少有風雨，不利發病。

稻作病害會影響稻米之米質及產量，近年來稻熱病、紋枯病及白葉枯病爲臺灣稻作之重要病害。本計畫工作已完成調查試驗期間稻作病害之發生，發現稻作栽培管理方式改變會影響稻株生育，進而影響稻作病害之發生。本研究記錄之資料，可用於建立本土農耕資料庫，供作栽培管理釐訂參考。

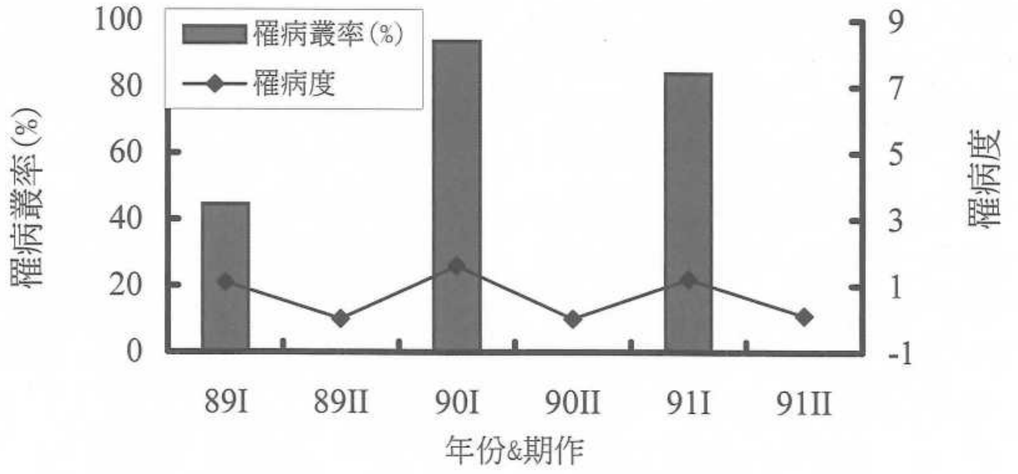


圖 1. 精準農業試驗田稻熱病之消長(2000-2002)。

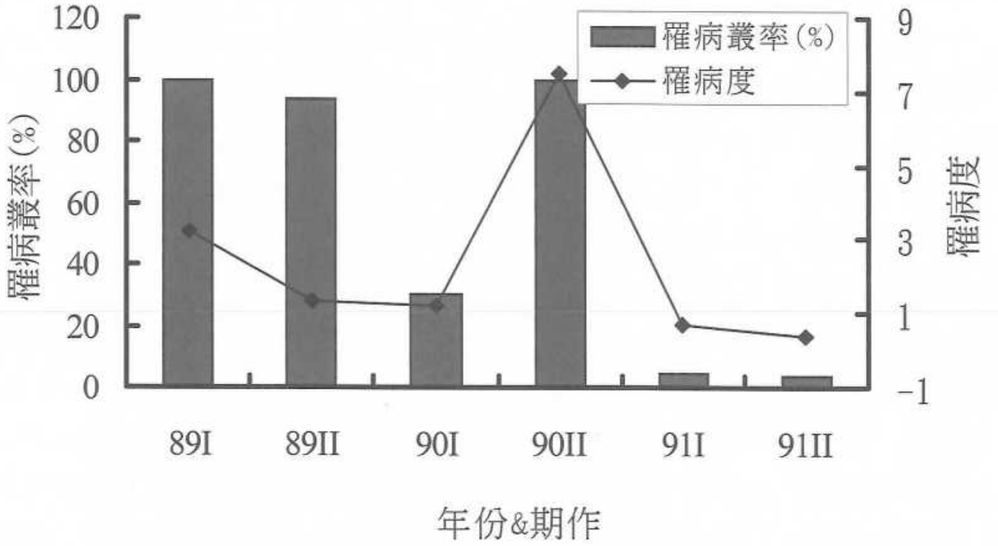


圖 2. 精準農業試驗田白葉枯病之消長(2000-2002)。

五、誌謝

本研究承蒙行政院農業委員會和農委會農業試驗所之科技計畫經費支持(89 遙測-4.1-糧-41(1)-6、90 農科-4.1.1-農-C2(Z)、91 農科-5.1.3-農-C2(Z)、92 農科-1.1.6-農-C1(5))，特以致謝。

六、引用文獻

杜金池等編。1990。稻作病蟲害發生預測專輯—稻熱病。臺灣省農業試驗所特刊第 30 號。臺灣省農業試驗所，臺中縣。119pp.

杜金池、張義璋。1991。水稻紋枯病之生態及防治。p.65-81。稻作病害研討會專刊。杜金池等編。臺灣省農業試驗所，臺中縣。

臺灣省政府農林廳。1966-1997。植物保護工作檢討報告。農林廳編印，南投縣。

謝式坪鈺。1991。臺灣水稻白葉枯病發生近況與展望。p.117-130。稻作病害研討會專刊。杜金池等編。臺灣省農業試驗所，臺中縣。

簡錦忠、洪雲卿。1970。稻白葉枯病之研究 1.接種方法之檢討及稻品種抗病性測定。農業研究 19:46-50。

簡錦忠、謝麗娟。1989。本省稻白葉枯病菌病原群之研究 1.判別品種之探討。中華農業研究 38:216-228。

Changes in Main Diseases of Rice in Precision Farming Field at Taiwan Agricultural Research Institute

Yih-Chang Chang* and *Li-Jyuan Hsieh*
Division of Plant Pathology, Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC
E-mail: ycchang@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

Rice diseases are prevailing throughout the island of Taiwan due to locating at the tropical and subtropical regions with hot and humid island-style climate, which is favorable for pathogen propagation and spread. Damages caused by diseases account for more than 6% of agricultural production. As part of Precision Agriculture research project, this study was designated to survey rice diseases occur during the experimental periods for database establishment and other specific purposes. We investigated the occurrence of three major destructive rice diseases, blast, sheath blight and bacterial leaf blight. The results showed that the disease incidence of blast was more severe in the first crop. It was markedly affected by the weather conditions. The climate of 2001 was the most favorite for the development of blast disease than the rest two years, 2000 and 2002. The bacterial leaf blight disease also occurred in both two crops. Early application of fungicides was an effective control measure for the bacterial blight. The sheath blight occurred slightly during the experimental periods.

Key words: Rice disease, Precision agriculture, Rice leaf blast, Bacterial leaf blight.

水稻精準農業體系
精準農業試驗田區水稻主要蟲害之監測
167-174, 2003

精準農業試驗田區水稻主要蟲害之監測

余志儒
行政院農業委員會農業試驗所應用動物組
E-mail: jzyu@wufeng.tari.gov.tw

摘要 ---------- 168
一、前言 ---------- 168
二、調查採樣方法 ---------- 169
三、調查結果 ---------- 170
四、誌謝 ---------- 172
五、引用文獻 ---------- 173
ABSTRACT ---------- 174

精準農業試驗田區水稻主要蟲害之監測

余志儒
行政院農業委員會農業試驗所應用動物組
E-mail: jzyu@wufeng.tari.gov.tw

摘要

為配合精準農業遙測分析之需求，進行地面實際之蟲害發生種類與數量消長調查，期能與遙測資料相呼應。除 89 年度外，其餘年度之調查採樣點採均可定位之設計，每次調查結果皆以 MS Excel 檔記錄，可供其他遙測結果分析時參考。計畫期間各期作調查的害蟲皆以鱗翅目之瘤野螟蛾(*Cnaphalocrocis medinalis* (Guenéé))與二化螟蛾(*Chilo suppressalis* (Walker))危害較明顯，大螟(*Sesamia inferens* Walker)僅在 89 年第一期作有發生，往後即未再發現。褐飛蝨(*Nilaparvata lugens* (Stål))、斑飛蝨(*Laodelphax striatellus* (Fallen))、黑尾浮塵子(*Nephotettix* spp.)等同翅目及綠椿象(*Nezara viridula* L.)、稻細蟎(*Steneotarsonemus spinki* Smiley)等皆為零星發現，密度在經濟危害水準以下。瘤野螟與二化螟通常於第二期作為害較嚴重，且前者較早出現為害徵狀，族群起伏在 89 至 91 年度都較大。92 年第一期作此二種害蟲發生情形與往昔不同，自第 5 次調查 5 月 21 日開始直至採收不見危害，而二化螟之為害蘗數卻開始增加，至採收前平均每 25 叢仍有 3.7 蘗被害，此可能影響第二期作之族群密度。

關鍵詞：水稻、害蟲、族群動態。

一、前言

本研究係配合精準農業遙測分析之需求，進行地面實際之蟲害發生種類與數量消長調查，期能與遙測資料相呼應。

由於大環境的變遷，水稻的重要性日趨沒落，但水稻仍是台灣農業之大宗作物。台灣因地處亞熱帶，氣候高溫多濕，病蟲害極易孳生，不但種類繁多，所造成之經濟損失亦不容忽視。臺灣地區水稻的害蟲種類，明、清時期雖有記載，但較不明確。較具系統者始於日據時代，據朱及鄭(1996)所引述日本人堀健和素木得一(1910)合著之『有關台灣害蟲之調查』報導約有 70 種，三輪勇四郎(1943)所著『台灣害蟲名彙』中達 101 種，光復後易希陶(1963)的描述亦有 80 餘種。各學者發表之種類互有不同，總計則有 150 種以上。其主要危害種類與程度因季節、地區、防治策略及耕作方式等因素而有差異(表一)，因此有十大、五大害蟲等稱謂。1950 年後，由於水稻品種、耕作方式的改變以及合成氯化烴與有機磷劑等劇毒性殺蟲劑的過度使用，主要害蟲一度以飛蝨類與葉蟬類為主。近年來則以能長距離遷移的褐飛蝨(*Nilaparvata lugens* (Stål))與瘤野螟(*Cnaphalocrocis medinalis* (Guenéé))較受矚

目，故初步以此二種害蟲爲主要監測目標。

飛蝨類與葉蟬類之同翅目害虫，除直接吸食稻株汁液外(Tao and Ngo, 1960；鄭，1979；鄭，1980)，其分泌之蜜露亦會引發煤煙病影響光合作用，更是多種病害之媒介昆蟲(陳，1978)，間接危害可能更爲嚴重。褐飛蝨爲亞洲地區水稻主要害蟲之一，在本地更是長久以來就被認爲是重要害虫(朱及楊，1980)。該蟲在台灣於 1912 年時首度被記錄，之前並未被人注意，至 1960 年代由偶發性變成經常性發生之嚴重害蟲。自 1910 年後即曾陸續大發生，造成嚴重之經濟損失。該蟲每年發生約 8～11 代，性喜高溫多濕之環境，在秧苗期或本田插秧後不久即可侵入，若蟲與成蟲喜群聚於植株基部隱蔽不通風，離水面約 10 公分處吸食汁液，輕者植株基部黃化，重則全株枯萎，蟲密度高時更可造成整片稻作倒伏之蝨燒現象，第二期作乳熟期間危害最烈。

水稻螟蟲類害蟲，在日據時代主要是指三化螟(*Scripohaga incertulas* (Walker))，三化螟又稱一點大螟，爲台灣水稻螟蟲之代表。1960 年以後三化螟逐漸式微，二化螟則普遍發生。二化螟昔時爲地區性蟲害，曾經一度取代三化螟之重要性，1960 年代後期則逐漸變爲次要害蟲，1980 年代初期才又普遍發生見及各地，有時躍居爲重要害蟲。二化螟每年發生 4～6 代，卵塊產於葉面或葉鞘上，孵化之幼虫有群棲性，自葉鞘縫隙潛入取食葉鞘內側，致葉鞘萎黃枯死。隨後鑽入桿內爲害，造成枯心或白穗。越冬之幼蟲或蛹棲息於水稻殘株或稻桿內。近年來經常大量發生之瘤野螟(*C. medinalis*)，俗稱稻縱捲葉蟲。在台灣地區雖然 1912 年即已被列爲水稻主要害虫之一，但多爲偶發性，1960 年以後才逐漸普遍嚴重，至今之重要性則僅次於褐飛蝨(鄭，1999)，其原因一般認爲與栽植半矮性、豐產品種及密植、高氮肥等栽培技術有關。於第二期稻孕穗期至齊穗期危害尤烈。本蟲每年發生約 6～8 代，在南部地區可能多達 9～10 代，於第二期稻孕穗期至齊穗期危害尤烈。幼蟲取食嫩葉葉肉，或潛入葉鞘啃食其內壁組織。二齡以後吐絲將葉之兩側綴合成縱行虫苞，棲息其中沿葉脈取食，受害葉片呈縱行長條白色斑痕(陳等，1982；鄭，1987)。

其他尚有斑飛蝨(*Laodelphax striatellus* (Fallen))、綠椿象(*Nezara viridula* L.)等爲零星發生，稻細蟎(*Steneotarsonemus medecassus* Gutierrez)、水稻水象鼻虫(*Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel)等較爲地區性害蟲，但有可能入侵並且擴大，皆需持續提高警覺。

二、調查採樣方法

於農委會農業試驗所之精準農業農場試驗田區中選取調查田，89 年度全部、90 年度 2 塊各 0.5 公頃、91 與 92 年度各 1 塊 0.5 公頃進行蟲害發生種類與數量調查。每期作自插秧後第 30 天開始，每 7 天目測調查一次，至採收爲止。調查田區 89 年度之每小區面積爲 25 ×25 m^2，每小區每次逢機取 50 叢水稻；其他年度小區面積改爲 12.5×12.5 m^2，並爲使調查結果能與其他遙測結果相結合，採樣點改爲可定位之設計(圖 1)。其第 1 次調查取小區之中央 3 行，第 2 次調查取右鄰距約 1m 之 3 行，第 3 次調查取第 1 次調查之左鄰距約 1m 之 3 行，往後依次調查行位如右圖所示。第 1 採樣點距小區邊緣約 2 m，次個採樣點向內推約 2 m，依次類推共取 5 點，每採樣點在相鄰之三行水稻中取緊鄰 5 叢。調查以褐飛蝨與瘤野螟爲主要對象，其他害蟲爲次要對象，其中瘤野螟計數爲害稻葉數，二化螟及大螟等計數爲害稻蘗數，飛蝨類、葉蟬類則以目測方式計數或估測其成蟲與若蟲數，其餘害蟲附記之。

89 至 91 年第一期作因逢雨季皆調查 8

次，第二期作則有 9 次。90 至 92 年因採樣方式不同，每次調查結果皆以 MS Excel 檔記錄，其採樣方式之調查結果可供其他遙測結果分析時參考用。

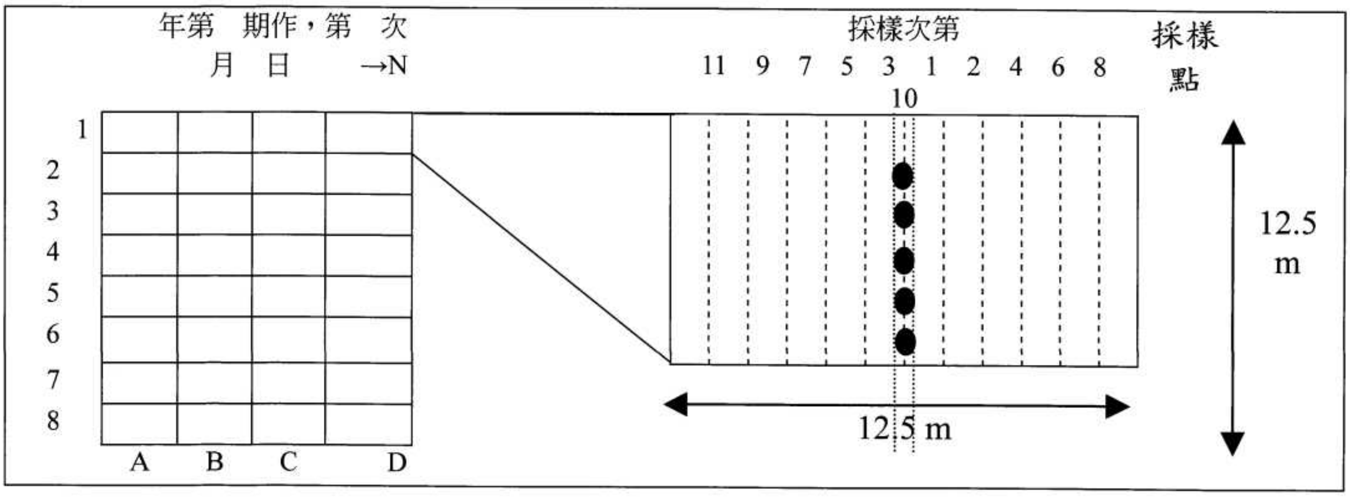


圖 1. 90 至 92 年度田間調查採樣設計簡圖。

三、調查結果

89 年第一期作自插秧後第 3 週開始調查即發現有害蟲蹤跡，其中以瘤野螟發生密度最高，尤其在較遲插秧之 39 與 82 號田更為嚴重，在其他田區採收後此二田區最高分別達每 50 叢 160.0 葉與 62.1 葉被害，其餘在 0.1～3.8 葉之間。其次為二化螟蛾，亦以較遲插秧之二塊田較多，最多分別為 73.1 蘗與 4.6 蘗，其餘則在 0.3～3.4 蘗之間。褐飛蝨通常在四、五月間開始入侵，第二期作密度較高，第一期作發生密度極低當屬正常。但於 5 月中旬開始發現有少量斑飛蝨，隨因施藥及下雨而受抑制。第 39 及 82 號田於 7 月 5 日調查得害虫種類增多，除受前述二種蛾類危害嚴重外，尚發現有大螟，其密度有逐漸增高開始立足為害之勢，應加注意。此三種螟蛾發生百分比(表 1)在 39 號田分別佔 87.5、6.7 及 5.9%，在 82 號田分別佔 82.1、11.8 及 4.2%。綠椿象、斑飛蝨及稻細蟎則為零星發現，未構成危害。第二期作至糊熟期前仍以瘤野螟蛾與二化螟蛾危害較嚴重。其中瘤野螟蛾為害葉片數至 10 月中旬達最高峰，可能因施藥之影響 10 月下旬旋即下降；二化螟蛾在施藥前後之族群消長較無大變動。9 月下旬發現少量黑尾浮塵子，經施藥防治後，自 10 月中旬之後即無再發現。斑飛蝨及預期會較大量之褐飛蝨亦極少。

表 1. 水稻 89 年第一期作後期三種螟蛾發生數及其百分比。

田號 / 螟蛾種類	39		82	
	葉或蘗數/50 叢	百分比(%)	葉或蘗數/50 叢	百分比(%)
瘤野螟蛾	160.0 ±8.2 a	87.5 ±6.9 a	129.5 ±16.3 a	82.1 ±4.1 a
二化螟蛾	11.3 ±4.9 b	6.7 ±4.7 b	18.5 ± 2.1 b	11.8 ±2.2 b
大螟蛾	9.9 ±1.3 b	5.9 ±3.7 b	6.5 ± 2.1 b	4.2 ±1.7 b
LSD (5%)	26.3	5.5	30.4	9.0

90 度 2 期作中同翅目害蟲發生均少，第一期作可能因雨影響未見發生，第二期作僅發現有極少之褐飛蝨、斑飛蝨及葉蟬類，密度遠低於經濟危害水平。第一期作之第 5 次調查因雨取消而有 8 次調查，第二期作則有 9 次調查，2 期作皆以鱗翅目之之瘤野螟蛾與二化螟蛾爲害較嚴重，在未施殺蟲劑處理之 75 與 76 號田其爲害調查結果如表 2、4。瘤野螟爲害部位在葉片，故計數水稻葉片被害數如表 1，在第二期作之爲害程度比第一期作嚴重。最高峰第一期與第二期作分別出現在 5 月 16 日至 23 日與 10 月 3 日，平均每 25 叢水稻最高達 10.2 與 55.2 葉片被爲害。但從小區個別來看，最高分別達 24 葉與 69 葉被害，調查日期分別爲 5 月 16 日與 10 月 3 日。二化螟爲害在稻桿，且 1 桿可有多蟲同時爲害，故調查其爲害孽數。2 期作中以第一期作爲害較嚴重(表 3)，平均每 25 叢水稻最高分別達 13.0 與 7.2 孽，分別發生在 5 月 30 日與 10 月 17 日。小區個別最高峰則分別爲 21 與 10 孽，在 5 月 30 日、6 月 6 日與 10 月 11 日、17 日出現。上述二種鱗翅目害蟲，瘤野螟發生密度起伏較大，且高峰期比二化螟約早 1～2 週。89 年度尚調查有大螟，其密度有逐漸增高開始立足爲害之勢，但今年卻未發現，原因不明。褐飛蝨通常在四、五月間開始入侵，至第二期作密度較高，但本年度比去年度發生更少。另有零星發現綠椿象與稻細蟎，未構成危害。

表 2. 90 年水稻田之瘤野螟蛾發生調查(水稻被害平均葉數/ 25 叢)。

	調查日期(月/日)								
第一期作	4/11	4/18	4/25	5/2	5/9	5/16	5/23	5/30	6/6
75 號田	0	0	0.4	3.4	－*	10.2	6.0	3.3	0.3
76 號田	0	0	0.3	2.3	－	2.4	7.1	1.9	0.4
第二期作	9/12	9/19	9/26	10/3	10/11	10/17	10/25	10/31	11/7
75 號田	1.0	2.8	25.5	47.5	7.2	4.3	1.4	0.5	0
76 號田	1.2	5.7	10.2	55.2	10.8	8.6	3.2	0.7	0

*："－"因雨未調查。

表 3. 90 年水稻田之二化螟蛾發生調查(水稻被害平均孽數/ 25 叢)。

	調查日期(月/日)								
第一期作	4/11	4/18	4/25	5/2	5/9	5/16	5/23	5/30	6/6
75 號田	0	0.9	2.1	0.6	－*	1.3	7.9	9.7	5.4
76 號田	0.1	1.4	2.3	0.3	－	0.5	8.7	13.0	9.7
第二期作	9/12	9/19	9/26	10/3	10/11	10/17	10/25	10/31	11/7
75 號田	0.1	0	0.9	0.8	2.3	1.8	2.4	0.9	0
76 號田	0	0	0	0.5	5.1	7.2	3.8	0.6	0

*：附註同表 2。

91 年度二個期作仍然以瘤野螟與二化螟爲最主要害蟲，另僅在第二期作發現有少量褐飛蝨外，未調查得其他害蟲。瘤野螟亦以第二期作爲害較嚴重，最高峰第一期作與第二期作分別出現在 5 月 15 日與 9 月 18 日，平均每 25 叢水稻最多達 14.0 與 46.7 葉片被害(表 4)，

從小區個別來看，最多分別達 20 葉與 80 葉被害。二化螟爲亦以第二期作爲害較嚴重，平均每 25 叢水稻最多分別達 6.9 與 25.8 蘖，分別發生在 5 月 29 日與 11 月 1 日。小區個別最高峰則分別爲 11 與 59 蘖(表 5)。瘤野螟發生密度起伏較大，第二期作則於第 3 次調查即開始大量發生，除第 4 次調查不明原因掉至每 25 叢水稻有 9.0 葉被害外，此後直至第 9 次調查仍有 34.4～41.7 被害葉。二化螟於第二期作之發生狀況亦見特殊，第 1～7 次調查平均每 25 叢水稻皆在 2.2～3.5 蘖之間，至第 8 次與第 9 次則突然增多達 8.7 與 25.8 蘖。

92 年第一期作調查結果如表 6。此二種害蟲雖仍爲主要，其發生情形卻與往昔不同。瘤野螟在第 4 次調查時每 25 叢仍有 5.8 葉之爲害，但第 5 次調查 5 月 21 日突降爲 0，直至採收皆不見危害，相當反常。而二化螟爲害蘖數卻在此時開始增加，至採收前每 25 叢仍有 3.7 蘖被害，此可能影響第二期作之族群密度。

四、誌謝

本研究承蒙行政院農業委員會和農委會農業試驗所之科技計畫經費支持(89 遙測-4.1-糧-41(1)-6、90 農科-4.1.1-農-C2(Z)、91 農科-5.1.3-農-C2(Z)、92 農科-1.1.6-農-C1(5))，特以致謝。

表 4. 91 年水稻田之瘤野螟蛾發生調查(平均水稻被害葉數/ 25 叢)。

	調查日期(月/日)								
第一期作	4/17	4/24	5/1	5/8	5/15	5/22	5/29	6/5	6/12
	1.8	2.7	4.0	11.3	14.0	—*	9.2	2.2	0
第二期作	9/4	9/11	9/18	9/26	10/2	10/9	10/17	10/23	11/1
	10.3	8.1	46.7	9.0	35.1	34.5	36.7	34.4	41.7

*：附註同表 2。

表 5. 91 年水稻田之二化螟蛾發生調查(平均水稻被害蘖數/ 25 叢)。

	調查日期(月/日)								
第一期作	4/17	4/24	5/1	5/8	5/15	5/22	5/29	6/5	6/12
	0.1	0.1	2.3	5.4	6.0	—*	6.9	4.8	4.0
第二期作	9/4	9/11	9/18	9/26	10/2	10/9	10/17	10/23	11/1
	3.3	2.2	2.8	2.3	2.6	3.5	2.9	8.7	25.8

*：附註同表 2。

表 6. 92 年水稻田第一期作之瘤野螟蛾與二化螟蛾發生調查(平均被害葉數，分蘖數/ 25 叢)

	調查日期(月/日)								
	4/23	4/30	5/7	5/14	5/21	5/28	6/5	6/11	6/18
瘤野螟蛾	1.3	3.1	4.4	5.8	0	0	0	0	0
二化螟蛾	0	2.1	2.3	0	5.9	5.3	5.3	4.9	3.7

五、引用文獻

三輪勇四郎。1943。台灣害蟲名彙。台灣農會 16:242。

朱耀沂、楊平世。1980。褐飛蝨在台灣日據時代經濟重要性之探討。昆虫會會學報 15: 35-44。

朱耀沂、鄭清煥。1996。台灣光復前水稻害虫研究之沿革。植保會刊 38: 79-98。

易希陶。1963。經濟昆虫學。下冊。國立編譯館出版，臺北市。464pp。

陳秋男。1978。水稻褐飛蝨 *Nilaparvata lugens* (Stål)之生態。p.1-22。水稻病虫害：生態學與流行學。邱人璋，主編。中國農村復興聯合委員會出版，臺北市。

陳秋男、蘇文瀛、楊惠琴、陳麗芳。1982。台灣水稻害虫圖譜。台灣植物保護中心出版，臺中縣。40pp。

陳慶忠。1978。本省傳播水稻毒素病或類似毒素病害同翅目害虫之發生及其防治。p.113-122。中央研究院動物所專刊第 3 號，臺北市。

堀健、素木得一。1910。台灣的害蟲關係調查。台灣總督府農業試驗場特別報告 1:228。

鄭清煥。1979。水稻褐飛蝨的經濟爲害水平之研究II.褐飛蝨棲群密度與水稻產量損失之關係。科學發展月刊 7(11): 1103-1113。

鄭清煥。1980。第一期稻作黑尾葉蟬棲群成長型式及其直接爲害經濟防治適期之研究。昆虫學會會報 15: 133-144。

鄭清煥。1987。嘉南地區瘤野螟蟲之生態觀察。植保會刊 29: 135-146。

鄭清煥、朱耀沂。1999。台灣光復後水稻害蟲之發生演變及防治研究之回顧。植保會刊 41: 9-34。

Tao, C. H. and D. N. Ngo. 1960. Report on research of rice crop protection from insects in Vietnam, 1968-1969. J. Taiwan Agric. Res. 19(3): 1-14.

Population Dynamics of Main Insect Pests of Rice in Precision Farming Field at Taiwan Agricultural Research Institute

Jih-Zu Yu
Division of Applied Zoology, Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC
E-mail : jzyu@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

The Lepidopterian pests, rice leaffolder (*Cnaphalocrocis medinalis* (Guenéé)) and rice stem borer (*Chilo suppressalis* (Walker)), were the major targets surveyed during the cropping seasons in this study. The occurrence of other minor pests was also recorded. The pink borer (*Sesamia inferens* (Walker)) occurred in the First Crop of 2000 but was not found in later the following crops. The Homopterian pests, brown planthopper (*Nilaparvata lugens* (Stål)), smaller brown planthopper (*Laodelphax striatellus* (Fallen)) and green rice leafhopper (*Nephotettix* spp.), southern green stink bug (*Nezara viridula* L.), and rice tarsonemid mite (*Steneotarsonemus spinki* Smiley) were found scarcely, their population densities were bellow the Economic Injured Level. Rice leaffolder and rice stem borer usually presented more in the second cropping seasons. Generally the injured symptoms induced by rice leaffolder appeared more earlier than that induced by rice stem borer, and the population density of rice leaffolder fluctuated much more stronger than the rice stem borer. In the first cropping season of 2003, the occurrence of these two major insects was different than the normal years. Rice leaffolder disappeared suddenly from the 5th collection on 21th of May until harvest, while injury caused by rice stem borer increased gradually; there were 3.7 plants injured by this pest per 25 rice tussocks before harvest. Such phenomenon is expected to influence the population density of these two insect pests in the second cropping season.

Keywords : Rice, Insect pests, Population dynamics..

稻作產量分佈圖自動偵測系統－應變式穀流感測器最佳安裝位置研究

黃國祥*[1]、盧福明[2]、蔡致榮[1]、梁連勝[1]、張福祥[3]、林連雄[4]、林達德[2]
[1]行政院農業委員會農業試驗所農工組
[2]國立臺灣大學生物產業機電工程學系
[3]國立岡山農工職校生物機電科
[4]國立宜蘭大學生物機電學系
E-mail: hangoshan@wufeng.tari.gov.tw

摘　要 ---------- 176
一、前　言 ---------- 176
二、文獻探討 ---------- 177
三、試驗設備 ---------- 178
四、方法簡述 ---------- 180
五、結果與討論 ---------- 181
六、結　語 ---------- 184
七、引用文獻 ---------- 185
ABSTRACT ---------- 186

稻作產量分佈圖自動偵測系統－應變式穀流感測器最佳安裝位置研究

黃國祥*[1]、盧福明[2]、蔡致榮[1]、梁連勝[1]、張福祥[3]、林連雄[4]、林達德[2]

[1]行政院農業委員會農業試驗所農工組

[2]國立臺灣大學生物產業機電工程學系

[3]國立岡山農工職校生物機電科

[4]國立宜蘭大學生物機電學系

E-mail: hangoshan@wufeng.tari.gov.tw

摘要

本研究主要目的在於測試應變式穀流感測器應用於東方式水稻聯合收穫機之最佳安裝位置。試驗使用之穀流感測器及相關組件爲 Ag Leader PF-3000 型產量監測器系統，並以日本 YANMAR GC85 型聯合收穫機脫穀處理系統之正廠零件組裝穀流感測試驗架。測試用稻穀經由螺旋輸送機送進穀流感測試驗架內之淨穀揚穀螺旋機，沿淨穀揚穀螺旋機出口之切線方向訂定座標 x、y、z 軸以便定位衝擊板安裝點。預備試驗結果指出較佳穀流感測器衝擊板安裝點，再藉由安裝位置三因子反應曲面試驗設計之實驗結果，找出最佳監測穩定度之衝擊板安裝區間。

關鍵詞：水稻聯合收穫機、穀流感測器、產量監測器。

一、前言

定點產量即時監測與圖化技術只是龐大的精準農業體系中的一項工作，但卻是精準農業決策系統的重要依據。作業決策者不但要以前期作物產量分佈爲決策參考，更須以當期變率作業後之產量分佈狀態驗證其決策的正確性。

以往提及水稻田的產量，只能得知一整塊田區的總產量，但是如果要將田地區分爲數平方公尺一個區塊，列出每一區塊個別的產量，則需耗費許多人力與時間，非一般農民所樂意採用。若在聯合收穫機上裝設 GPS 與穀物流量和水分感測器，可連續紀錄單位時間內所收割稻穀重量、含水率與收穫機地理座標資料。將以上三項資料進一步整理之後即可應用軟體繪出水稻田區產量分佈圖 (Yield Map)，然而其重要的前提在於量測系統必須降低感測誤差以產生準確的數據。

台灣地區水稻的耕作方式早已走向高度的機械化，收割時皆以日本進口之水稻聯合收穫機作業，然而目前尚無合適並且經過驗證確實準確的產量即時監測組件可供運用。目前已商品化之產量監測器大多應用於泛用型西洋式大型聯合收穫機，台灣使用之東方

式水稻聯合收穫機機械尺寸、結構、淨穀揚穀螺旋機出口之穀流分佈皆與泛用型聯合收穫機不同。已商品化之產量監測器若直接修改安裝於束方式水稻聯合收穫機，雖然 GPS 系統與水分感測器之安裝及訊號讀取可直接套用，然而穀流感測器之安裝位置是否影響監測值的準確則須加以討論。本研究主要目的即在於探討穀流感測器應用於束方式水稻聯合收穫機之最佳安裝位置。

二、文獻探討

於田間收穫穀物，其單位面積產量可以下式計算(Reitz and Kutzbach, 1996)。而穀流率量測的精確度嚴重影響單位面積產量值的精確度。

$$Y_G(t)=\frac{m_G(t)}{V(t)\times W_c(t)}\times(1-U_G(t)) \qquad (1)$$

式中

$Y_G(t)$ ：該地理位置的單位面積產量，kg/m^2

$m_G(t)$ ：穀流率，kg / sec

$V(t)$ ：收割機速度，m / sec

$Wc(t)$ ：收割寬度，m

$U_G(t)$ ：含水率，%

Kormann *et al.*(1998)指出產量監測系統的組成包括：定位 GPS 感測器、穀物水份感測器、監測主控器控制/顯示、穀流感測器、收穫機速度感測器等配備，產量監測組件區分爲體積流式與質量流式。

就體積流式穀流感測器而言，穀流係以體積標示並按比重轉換成質量流，穀物體積量測方式可分爲開放式與封閉式體積流兩種。開放式體積流量測以 CLAAS Quanti meter II 與 RDS Ceres 2 爲代表，係於淨穀揚升器入流側上方以光柵(Light Barrier)運作，由揚升器翼板運送之穀物阻斷光束，依照暗相長度與校正函數，翼板所承載穀物之高度(亦即體積)因此而得以計算。封閉式體積流量測以 Claydon Yield-O-Meter (Shelbourne Reynolds Engineering 公司)爲代表，其係安裝於淨穀揚升器穀物輸出端，當穀粒進入淨穀筒後累積於產量感測器之翼輪(paddle wheel)上，一直等到穀粒位準達電容定位感測器所設定之位置時，控制電磁閥以驅動油壓馬達並轉動翼輪之繼電器才被啓動，藉由翼輪轉動數計算穀流體積。

質量流式穀流感測器，通常倚賴輻射量測與力/衝量量測方式，Data Vision Flow Control 產量監測系統(Massey Fergouson 公司)係採用輻射量測原理，當淨穀揚升器送出之穀物通過介於弱輻射源與輻射接收器間之區域時，輻射線被穀物吸收，而其吸收程度則對應量測區域之穀物重量，質量流依據揚升器速度推導穀流速度加以計算。Ag Leader 公司的 Yield Monitor 2000 產量監測系統使用力/衝量量測原理，其感測器由承裝於力量感測器之擋板與力量感測器所組成，當穀物撞擊擋板時，垂直之彎曲桿所傳導的力量以應變規加以感測。由於此衝量係質量與速度之乘積，因此配合揚升器之穀流速度即可計算質量流。Micro-Trak 公司之 Grain-Trak 產量監測系統也使用力/衝量量測原理，惟係以四支量測指(Measuring Finger)取代擋板。John Deere 公司之 GreenStar 系統則以電位計彈簧組之位移量量測力/衝量，其半圓型沖擊板係安裝於彈簧元件上，依據虎克定律彈簧變形量取決於所附加之力量，因此，電位計之位移量可被轉換成衝量與質量流。

以上所述各式穀流感測器皆爲應用於斗升機系統之聯合收穫機，而且各穀流感測器製作廠商已將穀流感測器製成可直接安裝之套件，安裝位置已確定，然而相較於束方式水稻聯合收穫機，淨穀揚穀螺旋機穀物排出型態與斗升機者不同。穀流感測器安裝位置

無相關文獻探討。

在日本方面，Shoji *et al*.(2002)採用荷重元(Load Cell)爲量測主體，並於收穫機機身另加裝加速規，作爲振動校正。Fujimoto et al. (2002)研製輕小型荷重元之量測裝置，因爲荷重元質量小可以不必慮振動因素，此兩篇論文亦無提及安裝位置如何確定。

國內於精準農業作物產量分佈圖監測系統研究過程中，對於產量分佈圖與含水率分佈圖，與實測值之間仍存有差異(盧，2000)，產量監測器之準確度尚待進一步校正改善。

三、試驗設備

(一)穀流調配設備

參照 YANMAR GC 85 型水稻聯合收穫機規格表，配合國內目前田間產量，可以預估所需穀流率範圍進而設計穀流調配設備相關規格，本設備由儲穀桶、電動機、變頻器、減速機構和水平螺旋輸送器(螺直徑 127mm、螺旋軸直徑 42mm、螺距 125mm)所組成，在馬達定速情況下可以調配出均勻穀量之穀流；改變不同轉速則可以模擬不同的穀流率。爲適應各種產量，應用變頻器控制螺旋輸送機轉速，電動機頻率與穀流率關係如圖 1 所示。

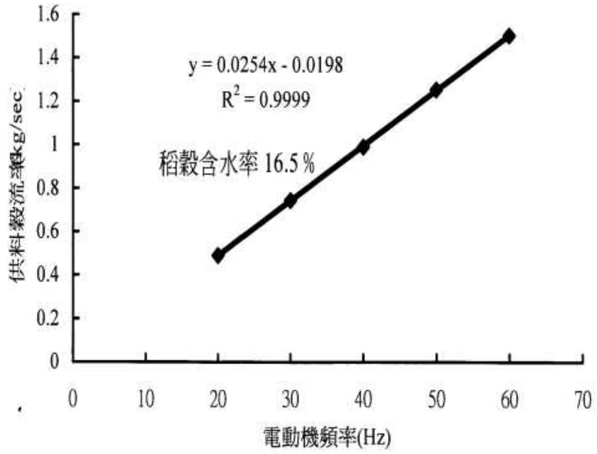


圖 1. 電動機頻率與供料穀流率關係圖。

(二)穀流感測試驗架

將聯合收穫機之脫穀處理單元和淨穀揚穀螺旋機等部品零件，組合安裝於立體框架內，並裝設穀流分散板將穀流平均散開以模擬田間收穫時之眞實情況。在淨穀揚穀螺旋機之稻穀排出口處附近安裝穀流感測器，其詳細配置如圖 2 所示。淨穀揚穀螺旋機之轉速則依據收穫機配速而訂定。

1.儲穀桶	2.電動機暨減速機構
3.螺旋輸送機	4.分散板
5.脫穀處理單元	6.淨穀排出口
7.產量監測器安裝位置	8.含水率檢知器

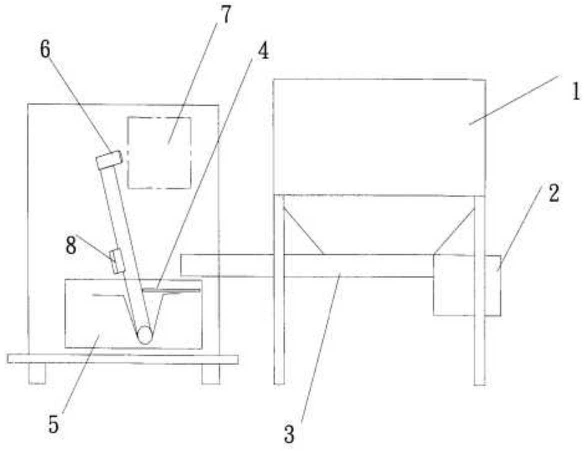


圖 2. 穀流調配設備暨產量監測器配置示意圖。

(三)重量量測設備

應用導流板將產量監測器感測過之稻穀導引到儲穀箱。導流板傾斜度 45 度，大於稻穀與鋼板安息角，所以稻穀可順利流下至儲穀箱。並使用電子式地磅量測重量累積數據，電子式地磅可秤重至 1000 公斤，精度爲 0.2 公斤，地磅檯面距地高 25 公分。其詳細配置如圖 3 所示。

1.穀流感測器	2.導流板
3.儲穀箱	4.電子秤

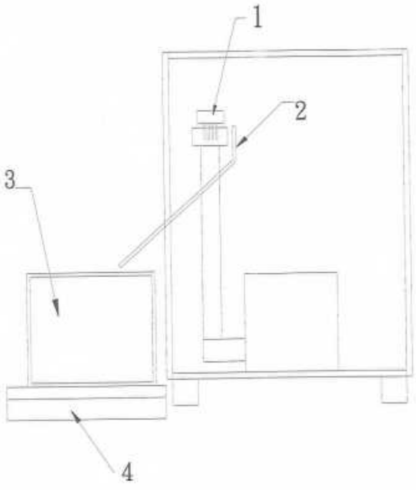


圖 3. 榖流重量量測設備示意圖。

(四) 隔離振動桁架

將測試架之揚穀螺旋機啓動之後，選定監測器之振動校正按鈕，監測器將自動進行 60 秒之振動校正，隨後顯示出校正值 C1。實際操作結果指出，校正值 C1 並不可信，產量監測器在無穀流情況下，監測器之重量讀數卻不斷增加，將 C1 值手動調整至最高值 200 仍不能完全排除淨穀揚穀螺旋機空轉造成重量讀數不斷增加之現象。所以另行設計隔離振動桁架，跨越於穀流感測試驗架之上。將穀流感測器裝設於桁架，進行自動振動校正試驗，顯示出校正值 C1=20，且排除淨穀揚穀螺旋機空轉時重量讀數不斷增加之現象，顯示已達隔離振動之效果。圖 4 爲隔離振動桁架與穀流感測試驗架之實體圖。

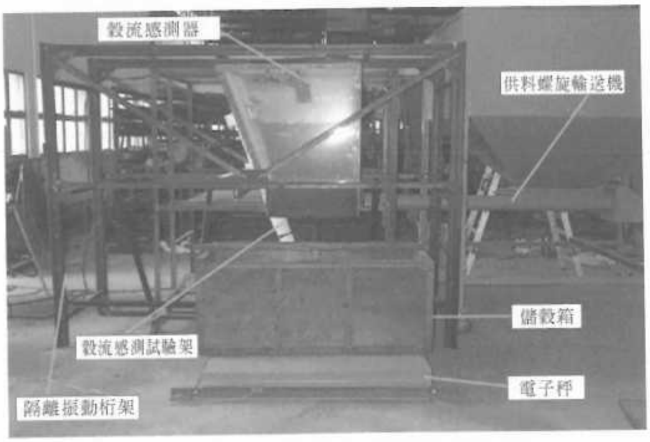


圖 4. 隔離振動源之桁架與測試架實體圖。

(五) 產量監測器系統

圖 5 爲 Ag Leader PF-3000 型產量監測器系統，包括：

I. 產量監測主控器，掌管資料之蒐集、儲存、處理。

II. GPS 接收器。

III. 各式感應器，包含穀流感測器、穀物水分溫度感測器、斗升機速度、收割啓動／暫停開關、車輛速度等感測器及電源供應裝置連接線。

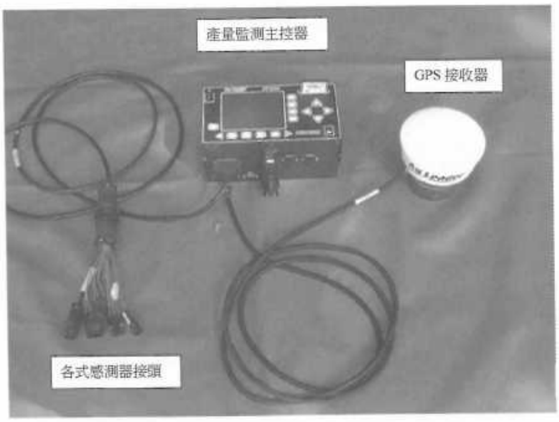


圖 5. Ag Leader PF-3000 型產量監測器系統。

Ag Leader PF-3000 型產量監測器主控器面板，在其顯示幕可以顯示各項設定及監測數值及產量圖。本研究之重點在於觀測量測值與眞實重量之差異，所以試驗時，將監測重量值、穀物含水率值和斗升機速度值顯示於顯示幕之上。穀物含水率值可設爲自動感測或直接設定爲定值，實驗時每批稻穀於試驗完成後即整批倒入穀流調配設備之儲穀桶內充分混合，所以將穀物含水率設爲定值。

試驗時，必需提供收穫機行進速度訊號及斗升機轉速訊號，否則系統無法運作。此處之斗升機爲泛用型西洋式大型聯合收穫機之揚穀配備，所以此數值對應爲淨穀揚穀螺旋機轉速，爲提供行進速度訊號及斗升機轉速訊號，乃製作一個由變頻器驅動之 3 相馬達來帶動內含磁鐵之圓盤，藉由磁性感應器提供虛擬轉速訊號。

(六)穀流感測器改裝

Ag Leader PF-3000 型產量監測器系統之穀流感測器，原設計爲安裝於泛用型聯合收穫機上使用，各相關螺絲孔位置不適合安裝於本研究所製造之穀流感測試驗架上，所以改裝感測器連接板，並且以兩端各有螺紋之 3 支圓鐵桿安裝於隔離振動桁架上，此種方式可以容易修改衝擊板與排料口相對位置，由於水稻聯合收穫機之淨穀揚穀螺旋機與垂直面成 18 度傾斜，爲維持 Ag Leader 原設計衝擊板與垂直面成 6° 傾斜之狀態。所以再進行第二次改裝(圖 6)。改裝後穀流方向與衝擊板之角度關係如圖 7 所示。

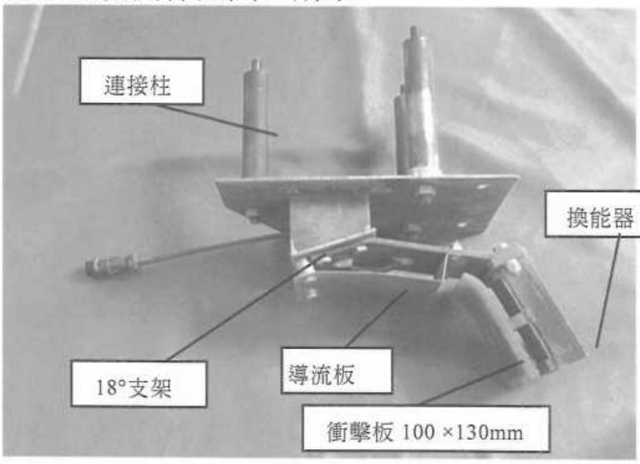


圖 6.穀流感測器結構第二次改裝。

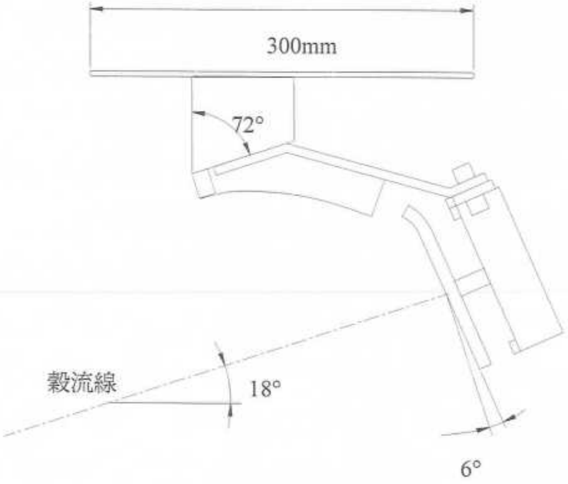


圖 7. 穀流方向與衝擊板之角度關係。

(七)攝影記錄裝置

使用 SONY video Hi8 攝錄影機拍攝實驗數據，再以 MPEG 影像擷取卡，將所拍攝畫面轉換爲 640X480 高解析影像資料，進而使用一般 DVD 播放軟體，慢速重播影像資料，暫停畫面來記錄相關數據。

四、方法簡述

(一)預備試驗

預備試驗的目的在於熟練產量監測器系統之使用方法並且對於穀流感測器性能作初步瞭解。依據穀流分佈分析所得之結果選定數個不同位置安裝穀流感測器，以固定的供料穀流率探討那個位置具有較小的監測誤差。監測誤差之定義如下：

監測誤差(%) = ((監測值－實重) ÷實重) ×100 % (2)

穀流分佈之分析結果決定穀流感測器，應裝設於稻穀排出口切線方向，因此沿此方向訂定座標 x(前後)、y(左右)、z(上下)軸，距離單位爲公釐(mm)，以便定位衝擊板中心點與出料口之相關位置，圖 8 爲穀流測試時安裝衝擊板位置之座標原點及座標方向。

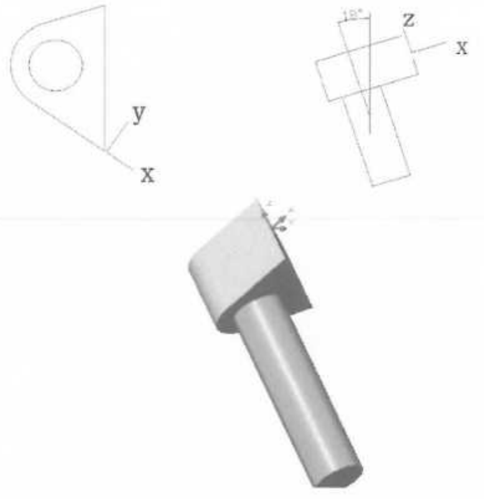


圖 8. 穀流測試時安裝衝擊板位置之座標定義。

(二)三因子反應曲面法

預備試驗結果僅能提供較佳的衝擊板安裝點。爲了比較各安裝位置之監測精確度，依據衝擊板與淨穀揚穀螺旋機稻穀排出口之相關位置，以所定的座標 x、y、z 軸位置爲三個因子，若採用複因子試驗設計方法，x、y、z 軸各選定三個變級，則必須進行 3^3 個安裝位置測試，而且每個位置重複 6 次，則需進行 162 次試驗。若採用反應曲面法(Response Surface Methods，RMS)，X_1(x 軸)、X_2(y 軸)、X_3(z 軸)爲三個因子，依中心複合設計(Central Composite Design，CCD)，其變數領域如圖 9 所示。每個因子必需有五位準以滿足此設計之要求，其標準化之碼值(Coded Values)分別爲-1.682、-1、0、1 與 1.682，爲以最少位置因子組合有效獲得各參數對穀流感測精確度之影響。依據預備試驗所判斷的最佳位置爲(0,0,0)中心點，安裝衝擊板於圖上所示 15 個位置，每個位置重複 6 次測試，共進行 90 次試驗。所以反應曲面法與複因子試驗設計相較可大爲減少試驗次數，以及更換穀流感測器位置所必需耗費的機械加工製造工作。

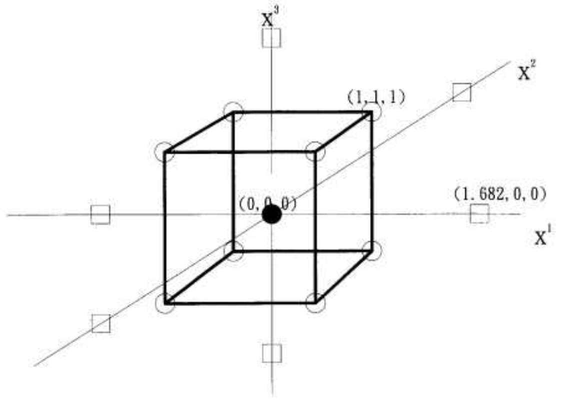


圖 9. 三因子反應曲面法中心複合設計變數領域。

反應曲面法試驗所得數據，則使用統計軟體 STATGRAPHICS 進行逐步回歸(Stepwise Regression)程序以選取最佳二階多項反應曲面方程式，並以 MATLAB 軟體繪製方程式圖形，隨後依據此反應曲面方程式探討三因子之最適值。

五、結果與討論

(一)預備試驗結果

任何產量監測器系統於裝設之初或應用於不同作物時，皆需先進行監測誤差校正，監測誤差定義如式(2)所示。依據 PF-3000 使用手冊所示的校正方法，進行至少三次的實際量測，之後以選單選擇鍵進入校正模式之重量校正選項，以便輸入實測眞實值。按下校正鍵後，讓監測主控器自動校正重量，並改變監測主控器內之校正係數 C2~C11 值。

進行預備實驗時依此方法進行校正工作，但是發現僅能自動校正一次，除非將監測主控器有關產量之記錄資料全部刪除，否則無法再進行自動校正，與說明書所言：任何時候皆能校正，有所不同。探究其原因可能爲監測誤差過大造成系統無法校正。

爲何需設定這些校正係數應屬於 PF-3000 製造公司未公開之技術資料，但是可以確定的是：當監測值讀數小於或大於眞實重量時可以將眞實重量與監測值比值乘以 C11 值得到新的 C11 值，輸入新的 C11 值之後會使監測值更接近於眞實重量。

在了解 C11 值特性後，隨即進行衝擊板安裝於座標 (200,30,0)、(200,60,0)、(200,0,0)、(300,30,0)、(300,60,0)、(200, 0,0)等六個位置之比較試驗。穀流衝擊監測器 1-2 分鐘後記錄量測監測值與實際重量值(實重)。爲減少監測誤差每個位置進行三次 C11 值校正；於安裝穀流感測器於新位置時進行第一次校正試驗，依據眞實重量與監測值比

值乘以當時的 C11 值而得到新的 C11 值，再進行第二次校正試驗。校正 C11 值之後，監測值會較爲接近眞實重量(實重)，因爲再改變一次 C11 值，將可獲致更佳的校正係數，因此再做第三次校正試驗，以便再次改變 C11 值，最後以此 C11 值爲該試驗位置的校正係數，第三次校正試驗結果做爲重複 6 次之正式試驗中的第一個數值，其餘 5 次試驗即不再改變 C11 值。校正監測值計算公式如下：

$$\text{校正監測值} = \frac{\text{平均實重}}{\text{平均監測值}} \times \text{監測值} \qquad (3)$$

監測值經過校正處理後，誤差之平均值即趨近於零，但是誤差分佈狀況則不同，圖 10 顯示各位置校正監測值誤差分佈狀況，其中以位置(200,30,0)之校正監測值誤差分佈最集中，顯示此位置之校正監測值差異性較小。

二、三因子反應曲面法試驗結果

依據預備試驗結果進行三因子反應曲面法中心複合設計，每個因子必需有五位準以滿足此設計之要求，其標準化之碼值(Coded Values)分別爲-1.682、-1、0、1 與 1.682。座標$(x_0, y_0, z_0)=(200, 30, 0)$應是測試中心點，但由於穀流感測器尺寸較大，若以預備試驗監測值差異性最小的位置(200, 30, 0)爲測試中心點，其對應之 x 軸分別位於 115.9、150、200、250、284.1 公釐處，由於太接近淨穀揚穀螺旋機排出口，無法安裝穀流感測器，因此改變中心爲$(x_0, y_0, z_0)=(250, 30, 0)$，其對應之 x 軸將分別位於 168.6、200、250、300、334.1 公釐處，y 軸將分別位於-20.46、0、30、60、80.46 公釐處，z 軸將分別位於-40、-23.8、0、23.8、40 公釐處。依據中心複合設計之各個測試點進行試驗，供料電動機設定頻率爲 40Hz，稻穀含水率 16.5％，實際穀流率約爲 1.0 kg/sec。

試驗時 C11 值的調整方法與預備試驗時不同，於預備試驗時，發現在不同安裝位置，測誤差值分佈廣，每次試驗皆須調整 C11 值，極爲浪費時間，而且沒有統一的比較標準。因此進行三因子反應曲面法試驗時，將 C11 值固定設爲產量監測器系統所定的最大值 15000。並以攝錄影方式，在每一位置進行 6 次實驗。每次試驗至少進行 60 秒，由於前 20 秒螺旋輸送機供料尚未穩定，所以讀取錄影資料時只取第 25 秒至 55 秒之 30 秒來判讀監測值及電子秤所增加的重量。監測值與實重之差異性以監測係數表示之，如(4)式所示:

$$\text{監測係數} = \frac{\text{30秒內內監測}}{\text{30秒內內實}} \qquad (4)$$

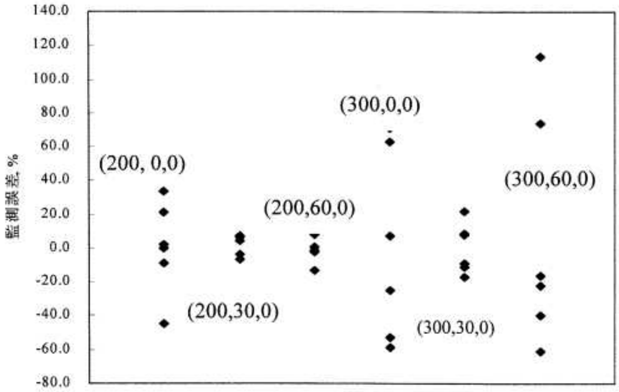


圖 10. 衝擊板安裝於不同位置之校正監測誤差值分佈情形。

並定義眞實穀流率爲電子秤所量到的單位時間重量，如(5)式所示:

$$\text{眞實穀流率} = \frac{\text{30秒內內量測實}}{\text{30秒}} \qquad (5)$$

在各位置進行 6 次試驗所得之監測係數

之 CV 值(變異係數)可用來比較各位置監測值穩定度，CV 值之定義如(6)式所示:

$$CV=(標準偏差\div平均值)\times100\% \qquad (6)$$

每一試驗組合之試驗結果如表 1 所示，在 15 個位置各進行 6 次試驗，總共 90 次試驗數據。因限於篇幅並未羅列，有興趣者可參考黃(2003)之附錄五。將表 1 數據輸入統計軟體 STATGRAPHICS 進行逐步迴歸以選取 C11 值及 CV 值的最佳配湊二階多項反應曲面方程式。

C11 值最佳配湊二階多項反應曲面方程式：

$$C11=73329.61Y^2-84838.93Y+11360.47 \qquad (7)$$

$R^2 = 0.6795$ ($P<0.0004$)

雖然由實驗數據可以看出 x 軸距離(參數 X)對於 C11 值亦有影響，然而 y 軸的影響至爲巨大，所以迴歸分析所得迴歸式只有參數 Y。以 MATLAB 軟體繪製方程式圖形(圖 11)顯示在 Y_0 至 Y_1 區間，亦即 y=30 公釐至 y=60 公釐處 C11 值較低，使得穀流感測時有較佳衝擊效應。所以可以確定穀流感測器之衝擊板中心點，若太偏離揚穀螺旋排出口切線方向，由於衝擊力減弱，穀流感測訊號微弱需要乘以更大倍數才能校正數值。

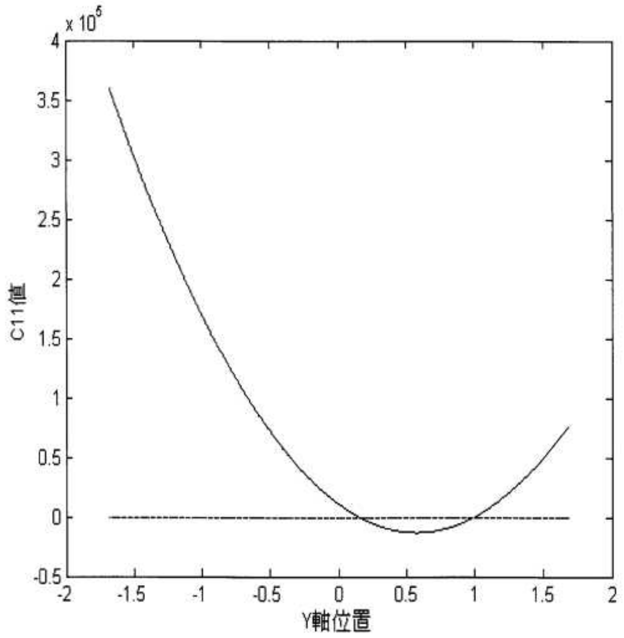


圖 11. 安裝衝擊板之 Y 軸位置與 C11 值之關係。

表 1. 三因子反應曲面法試驗結果(單位 mm)。

實驗組合	x	y	z	C11 計算值	CV(%)
1	200(-1)	0(-1)	-24(-1)	140032	41.28
2	200(-1)	0(-1)	24 (1)	44300	38.10
3	200(-1)	60(1)	-24 (-1)	13009	27.03
4	200(-1)	60(1)	24 (1)	7376	8.13
5	300(1)	0(-1)	-24 (-1)	297809	80.76
6	300(1)	0(-1)	24 (1)	61371	41.25
7	300(1)	60(1)	-24 (-1)	71903	61.19
8	300(1)	60(1)	24 (1)	10855	6.63
9	168(-1.682)	30(0)	0(0)	7439	6.18
10	334(1.682)	30(0)	0(0)	20749	26.61
11	250(0)	-21(-1.682)	0(0)	437824	93.76
12	250(0)	80 (1.682)	0(0)	10724	12.76
13	250(0)	30(0)	-40(-1.682)	29893	35.96
14	250(0)	30(0)	40(1.682)	9744	9.49
15	250(0)	30(0)	0(0)	8933	7.71

CV 值最佳配湊二階多項反應曲面方程式如下：

$$CV=13.2509Y^2-17.1810Y-11.7630\ Z-9XZ+8.0276X+21.0577$$
$$R^2=0.8293\ (P<0.0004) \quad (8)$$

C11 值分析結果指出 Y 因子在 Y_0 至 Y_1 區間爲最佳，所以將 Y 定爲 0 代入(7)式而得到新的二階多項反應曲面方程式如下：

$$CV=-11.7630\ Z-9\ X\ Z+8.0276\ X+21.0577$$
$$R^2=0.8293\ (P<0.0004) \quad (9)$$

以 MATLAB 軟體繪製(9)式之曲面圖和等高線圖如圖 12 和 13 所示。CV 值在($X_{1.682}$, $Z_{-1.682}$)位置最大，且向著($X_{-1.682}$, $Z_{1.682}$)方向陡降。位置($X_{1.682}$, $Z_{-1.682}$)距離淨穀揚穀螺旋機排出口最遠，而且衝擊板中心點在 x-y 平面下方，造成 CV 值高的原因，係穀流未能直接衝擊於衝擊板所引起，因爲穀粒能到達遠處者多爲速度高的穀粒，速度低的穀粒則以拋物線方式落下，因此衝擊力較小。另外由於衝擊板位置過低，穀流導流板位置亦低，造成穀粒先衝擊於穀流導流板再衝擊於衝擊板，所以監測 CV 值較高。衝擊板沿 x 軸靠近淨穀揚穀螺旋機排出口時，穀流較集中所以監測係數之 CV 值就能降低。

等高線圖指出，若安裝穀流感測器於 X_{-1} 至 $X_{1.682}$ 位置，則應將衝擊板裝置於較高的位置；若安裝穀流感測器於 $X_{-1.6821}$ 至 X_{-1} 位置，則 Z(高度)的選擇較爲寬廣。

綜合以上討論，爲得最佳監測穩定度以及最佳衝擊效應，(x,y,z)=(168.6,30,0)應是最佳選擇，然而安裝於此位置時須將穀流感測器尺寸再加以縮小。本次實驗能安裝於此位置時，穀流感測器外緣超出揚穀螺旋排出口邊緣甚多，若安裝於的水稻聯合收穫機內，則有空間不足之慮。

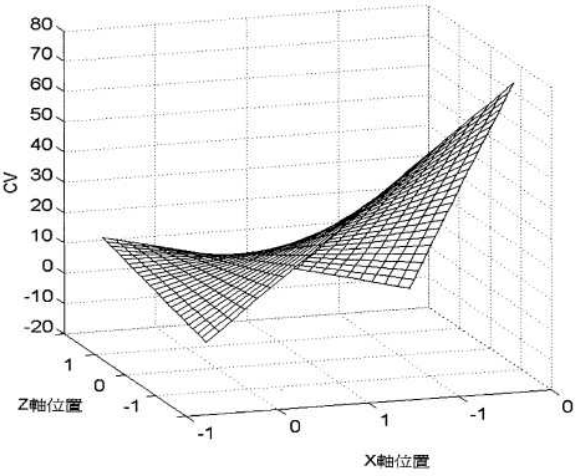


圖 12. 在 Y_0 情況下不同 X,Z 位置之 CV 反應曲面。

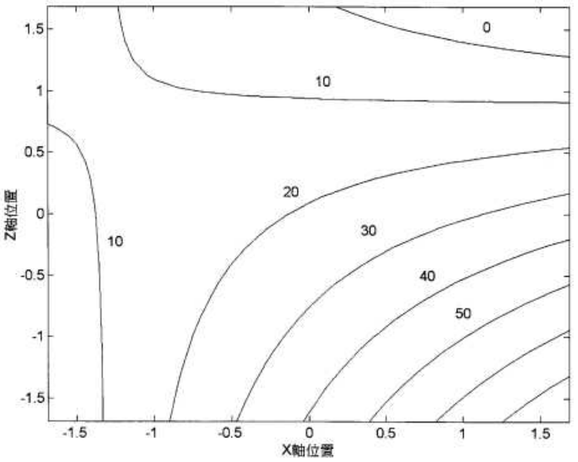


圖 13. 在 Y_0 情況下不同 X，Z 位置之 CV 值等高線圖。

六、結語

由衝擊板安裝位置三因子反應曲面法試驗結果顯示；衝擊板中心點應裝設於淨穀揚穀螺旋機排料口切線方向且左移 30~60mm。衝擊板越接近淨穀揚穀螺旋機排料口位置，

監測穩定度越佳。本研究所使用之產量監測系統，其原設計爲適用於泛用型聯合收穫機之系統，安裝套用於東方式水稻聯合收穫機，受限於尺寸無法更接近於淨穀揚穀螺旋機排料口，而且只能垂直放置。若可開發較小型尺寸穀流感測器，則可以更接近於淨穀揚穀螺旋機排料口，而且安裝位置亦不侷限於垂直方向。

七、引用文獻

黃國祥。2003。應變式穀流感測器應用於東方式水稻聯合收穫機之研究。碩士論文。國立台灣大學生物產業機電工程學研究所。

盧福明。2000。精準農業體系之農機研發趨勢。p.105-110。水稻精準農業(耕)體系之研究。楊純明、林俊義，主編。行政院農業委員會農業試驗所，臺中縣。

Fujimoto, K., K. Shoji, T. Kawamura and H. Horio. 2002. Development of yield sensors for head feeding jidatsu combines. p.409~413. *In*: Proceedings of International Symposium on Automation and Mechatronics of Agricultural and Bioproduction Systems. National Chiayi University, Taiwan.

Kormann, G., H. Auernhammer and M. Demmel. 1998. Testing stand for yield measurement systems in combine harvesters. ASAE Paper No. 98-3102 ASAE. St. Joseph, MI.

Reitz, P. and H. D. Kutzbach. 1996. Investigations on a particular yield mapping system for combin harvesters. Computers and Electronics in Agriculture 14: 137-150.

Shoji, K., T. Kawamura and H. Horio. 2002. Impact-based grain yield sensor with compensation for vibration and drift. J. JSAM 64(5):108-115.

Development of Automatic Agricultural Machinery for Precision Agriculture – Optimal Location of a Strain-type Grain Flow Measuring System Installed on an Oriental Rice Combine

G. S. Hwang[1], F. M. Lu[2], J. R. Tsay[1], L. S. Liang[1], F. S. Chang[3], L. H. Lin[4] and T. T. Lin[2]
[1]Division of Agricultural Engineering, Agricultural Research Institute), COH, Taichung, Taiwan, ROC
[2]Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC
[3]National Kang-San Agricultural & Industrial Vocational, Kaohsiung, Taiwan, ROC
[4]Department of Biomechatronic Engineering, National Ilan University, I-Lan, Taiwan, ROC
E-mail:hangoshan@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

The objective of this study was to study the performance of the strain type grain flow sensor mounted on an oriental rice combine. The grain flow sensor and its integrated parts of the Ag Leader PF-3000 yield monitor were evaluated in this study. A genuine holding tank of Japanese YANMAR GC85 rice combine was adopted to build a testing stand. An incline screw conveyor received paddy from a horizontal screw conveyor. The grain flow pattern at the outlet of the incline screw conveyor indicated that the impact plate should be placed in the tangential direction of the grain flow path. A three-factor response surface methodology was adopted to study resolution and stability of the system for yield monitoring.

Key words: Rice combine, Grain flow sensor, Yield monitor.

水稻精準農業體系
稻株含氮量多光譜影像遙測系統之研究
187-206, 2003

稻株含氮量多光譜影像遙測系統之研究

陳世銘*[1]、黃竣吉[1]、楊智凱[2]、陳加增[1]、黃政偉[1]、吳德輝[3]、蔡養正[4]、繆八龍[5]

[1]國立臺灣大學生物產業機電工程學系

[2]行政院農業委員會農業試驗所農工組

[3]國立嘉義大學生物機電工程學系

[4]國立臺灣大學農藝學系

[5]國立臺灣大學農業試驗場

E-mail: schen@ccms.ntu.edu.tw

摘要 ---------- 188

一、前言 ---------- 188

二、方法簡述 ---------- 190

三、結果與討論 ---------- 195

四、結語 ---------- 203

五、誌謝 ---------- 204

六、引用文獻 ---------- 204

ABSTRACT ---------- 206

稻株含氮量多光譜影像遙測系統之研究

陳世銘*[1]、黃竣吉[1]、楊智凱[2]、陳加增[1]、黃政偉[1]、吳德輝[3]、蔡養正[4]、繆八龍[5]

[1]國立臺灣大學生物產業機電工程學系

[2]行政院農業委員會農業試驗所農工組

[3]國立嘉義大學生物機電工程學系

[4]國立臺灣大學農藝學系

[5]國立臺灣大學農業試驗場

E-mail: schen@ccms.ntu.edu.tw

摘要

本研究以多光譜影像遙測技術為基礎，自行開發出稻株含氮量多光譜影像遙測系統。在硬體研製整合上，稻株含氮量多光譜影像遙測系統成功結合多光譜影像擷取系統、定位系統及多功能田間載具系統。在軟體開發上，利用 Microsoft Visual C++ 6.0 進行程式撰寫，並與 Matlab 6.0 及 ArcView 3.1 整合，功能包含多光譜影像之擷取、定位訊號之擷取、定位訊號之座標轉換、地理資訊系統、多光譜影像分析、迴歸分析及等高線繪製。本研究採用即時動態衛星定位系統(RTK-GPS)，靜態定位精度分析指出 X 方向(東西)最大誤差為 2.5177 公分，Y 方向(南北)最大誤差為 2.3573 公分，顯示 RTK-GPS 具有極準確的定位精度。利用此遙測系統提供量測平台，以便建立之水稻含氮量多光譜影像檢量模式，對於 92 年一期作之台農 67 號水稻，採用 555、680 及 780 nm 三個波長進行檢量模式分析，可得到 $r_c = 0.7667$、SEC = 0.1958、$r_p = 0.7085$、SEP = 0.2252 之最佳結果。對於 92 年一期作之台稉 14 號水稻，採用 555、680 及 780 nm 三個波長進行檢量模式分析，可得到 $r_c = 0.8032$、SEC = 0.1441、$r_p = 0.7285$、SEP = 0.1734 之最佳結果。本研究所開發之稻株含氮量多光譜影像遙測系統，能夠以非接觸、非破壞方式擷取水稻之多光譜影像，並藉由自行開發之軟體進行分析，最後輸出水稻田區之含氮量分佈圖，提供施肥的依據，為精準農業提供一套有效且準確的遙測系統。

關鍵詞：多光譜影像、水稻、遙測、即時動態定位系統、精準農業。

一、前言

傳統的農耕方式，係將所有的農地一視同仁，施予相同的耕作處理，包含施肥、噴藥及灌溉等，此種農耕作業方式簡易方便，但無法針對農作物個別的差異給予最適當的栽培管理。因此，近年來農業技術發展以空間變異的

因素作爲農耕作業決策的依據，其目的在於能更精確地了解農地的變異狀況，使田間作業達到因地制宜的目標，以期能達到穩定產量、提高品質與維護生態環境的目標，並進一步衍生出精準農業的概念。

隨著科技的進步，遙測技術的蓬勃發展，目前一些農業大國如美國，已發展到利用衛星遙測的方式達成精準農業的要求。衛星遙測技術爲利用儀器偵測地表目標反射或放出的電磁輻射來決定其物理性質，此輻射量以數位化方式加以儲存紀錄，再將資料以無線電波傳回地球的接收站，此資料可以利用電腦來呈現，並對於大氣及儀器的誤差進行修正，可得到較準確的量測結果，目前在大氣科學、海洋科學、地球物理、水文學、生物學及軍事方面都廣泛的被應用(鄧及莊，1998)。蕭等(2000)利用多時段(multi-temporal)SPOT 衛星影像，判別以坵塊爲單元的水稻田分佈，進而更新農地坵塊土地的地理資訊系統(Geographic Information System，GIS)資料。Du *et al.*(2002)提出一套簡單且實用的流程去監測地表的改變，採用高解析度的輻射校正多時段衛星影像進行分析。

另外，航空遙測爲最普及、用途最廣且最經濟的遙測技術之一，利用光譜攝影技術，將地面上的景物以照片形式紀錄下來。Yang *et al.*(2000)利用航空數位影像及產量監測資料對於農作物生長情況及產量進行製圖。Han *et al.*(2001)從衛星(SPOT)影像及航照(Emerge and ADAR)影像萃取出 NDVI、GNDVI(Green Normalized Difference Vegetation Index)、RN(Red to Near-infrared band ratio)、GN(Green to Near-infrared band ratio)等指標，與實際量測之葉綠素計(SPAD)讀值進行相關分析，進而達到檢測玉米田氮逆境之情況。Goel *et al.*(2002)從飛機上擷取多光譜輻射影像，其波長範圍爲 475.12 ~ 910.01 nm，共有 24 個波段，經統計分析得到紅光段(675.98 與 685.17 nm)及近紅外光段(743.93 與 830.43 nm)對於玉米田辨識雜草有不錯的結果。

以上所提到的衛星與航空遙測，雖然皆具有綜觀廣域的特性，但衛星遙測因有其定時、定點及固定頻率之限制，而航空遙測雖有其可調整之彈性(不定時、不定點及可任意改變檢測頻率)，但在定位精準度上還是略顯不足，以美國大地衛星(Landsat Thematic Mapper，Landsat TM)爲例，其最小像元解析度爲 30×30 平方公尺，已滿足農業大國的需求，但相較於台灣小規模的農業作業環境，此種衛星遙測方式並不能符合小面積之農耕方式，且衛星影像的拍攝有其定時、定點及固定波段的特性，無法隨時與即時地提供影像，亦無法任意改變接收之波段，然而以地面遙測之方式，不僅能解決衛星遙測及航空遙測空間及頻譜解析度的不足，並且能更精準地得到地面上的農作物生長資料。

綜觀各種遙測方式，若以符合本研究需求角度來看，X 射線、紫外光、紅外線、超音波、雷射與微波較偏向屬於探討外部特徵方式，而可見光與近紅外光可應用於探討內部特徵。

若從一維的光譜資料尋找出數個有效之波長，並結合影像技術，將一維的光譜資料拓展爲二維的光譜影像資料，更搭配多個波長的光譜影像資料，應可以建立準確的量測機制。Chen *et al.*(2001、2002)及李(2001)應用多光譜影像之遙測技術，建立以作物爲本體的量測機制，利用多光譜影像特徵值計算出植物生理性狀值，藉以繪製等高線圖，得到水分逆境下植被水份、葉綠素(CMR)、標準差植被指數(NDVI)及葉面積指數(LAI)之空間分佈，以作爲蔬菜栽培的精準管理決策依據。Chen *et al.*(2002a、2002b)及陳等(2002a、2002b)以多光譜影像遙測技術進行水稻含氮量之檢測，並以 555，660，680 與 780nm 四波段建立台農

67 號稻株氮含量之檢測模式。另外，亦應用此檢量模式於不同品種之台粳 14 號水稻、不同年份及生長階段，皆顯示出本模式具有可行性，並以高空作業車於離地 15 公尺高度拍攝多光譜影像，驗証本模式可應用於大面積田區水稻含氮量分佈之分析，其結果可提供精準農業稻田肥培管理決策支援系統之應用。Park *et al.*(2001)利用高光譜(hyper-spectral)影像系統針對雞屠體進行影像拍攝，最後得到以雙波長(565/517)之光譜影像辨識雞屠體排泄物之殘留的效果最佳。Chao(2001)利用光電二極管的分光光度計對五種不同品種的雞心進行光譜擷取，利用多變率統計分析(Multivariate Statistical Analysis)的方式選擇 495、535、585 及 605 爲最佳波段，接著以此四個波長之窄頻濾鏡置於 CCD 鏡頭前，所得到之影像經由分析後得知其具有有不錯的辨識率(92 ~ 100%)。

水稻爲臺灣最重要之糧食作物。水稻的生長期長，故其產量與品質受到環境變化的影響甚鉅，其中影響產量與品質的重要原因爲氮肥的施用，汪(1974)指出適量的氮肥可促進水稻同化作用、細胞繁殖、莖之分櫱及葉面的擴大，但若氮肥過量施加，則莖葉生育太旺盛，易致倒伏且易罹病害，且會造成集水區、地下水甚至飲用水的污染，故對於整個生態環境而言，施用適量的氮肥是勢在必行的。

基於台灣爲小農之農業環境，且以水稻爲最重要之糧食作物，本研究應用多光譜影像遙測技術，對於水稻施氮肥最關鍵時期，進行非接觸、非破壞性之多光譜影像量測，監測稻株體內含氮量狀況，並利用軟硬體及機電整合的技術，發展農作物含氮量地面多光譜影像遙測系統，提供即時之農作物含氮量分佈資訊。本研究主要目的在於設計及研製稻株含氮量地面多光譜影像遙測系統，建立多光譜影像與稻株含氮量之檢測模式，以提供精準農耕應用。

二、方法簡述

本研究結合多光譜影像擷取系統、定位系統及多功能田間載具系統，開發一套稻株多光譜影像地面遙測系統，利用此檢測系統以稻株爲本體之量測機制，建立田間多光譜影像檢量模式，再結合地理資訊系統，完成一套稻株含氮量多光譜影像遙測系統。

(一)稻作田區之實驗規劃

本研究以水稻爲對象物，試驗品種爲臺農 67 號及台粳 14 號，試驗地點分別爲臺中霧峰農試所(台農 67 號，92 年一期稻作，78 號田區)及臺灣大學安康農場(台粳 14 號，92 年一期稻作)。在施肥管理上，臺中縣農委會農業試驗所在試驗田區深層施肥(基肥，2003/2/27，臺肥五號複合肥，施肥機施肥)採 0、45、90 與 135 kgN/ha 四種處理(理想狀態)，但因實際施肥機使用上的調整，使得實際等效施氮量依序爲 0、32.44、81.08 與 142.47 kgN/ha 四種處理，第一次追肥(臺肥一號複合肥，2003/3/17，人工施肥)依序爲 40、80、120 與 160 kgN/ha，第二次追肥(臺肥一號複合肥，2003/3/25，人工施肥)依序爲 60、120、180 與 240 kgN/ha，此施肥方式之用意在於增加水稻施肥之差異性，觀察在不同的施肥量下多光譜影像的表現與水稻含氮量之關係，並可建立更準確之多光譜影像與稻株含氮量之檢量線。臺大安康農場田區其基肥(2003/2/21，臺肥五號複合肥)與追肥(2003/3/28，臺肥五號複合肥)皆採用 0、128 與 256 kgN/ha 三種處理。

在實驗設計上，因本研究之實驗場地包括農試所 78 號田區及臺大安康農場，因實驗場地規劃之不同，必須規劃不同的實驗設計進行試驗，以下將分別詳細說明。

1. 農試所田區之實驗設計

在農試所 78 號田區進行本研究所開發之稻株含氮量多光譜影像遙測系統之實際田間

試驗，在 92 年一期作分蘗盛期時規劃採集 40 株水稻，92 年一期作幼穗形成期採集 52 株水稻。本遙測系統在 78 號田區之行進路線及採樣點如圖 1 所示，以停止怠速方式進行多光譜影像之拍攝，從氮肥處理一之區塊開始進行採樣，當行進至第一個採樣點時，以怠速方式停止，並調整鏡頭與水稻植被表面之距離為 140 公分，接著調整最適當之光圈，以取得最適當之影像曝光量，並啓動 AutoGain，以維持此時影像曝光量，最後進行多光譜影像拍攝，其拍攝實況如圖 2 所示。當拍攝完第一株水稻後，因已啓動 AutoGain，若氣候無太大變化，且光源穩定之情況下，可維持先前所調整之影像曝光量，故在往後進行影像拍攝時，則不需再調整光圈，可直接進行多光譜影像拍攝。

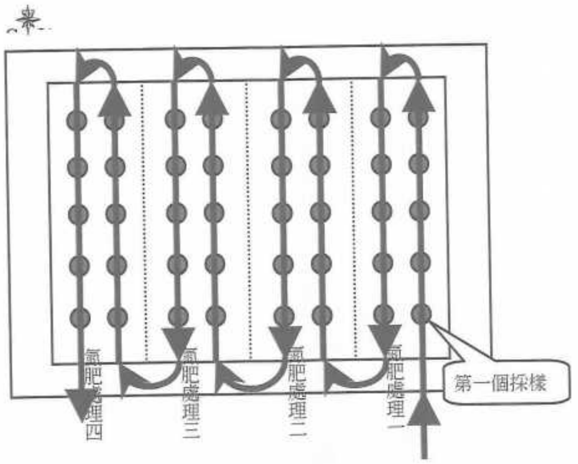


圖 1. 農試所 78 田區之試驗路線及採樣點規劃(40 點)。

圖 2. 在農試所 78 號田區實驗拍攝實況。

2. 臺大安康農場田區之實驗設計

安康農場之實驗設計上，因田區之規劃使得本研究開發之遙測系統無法進行田間試驗，故必須先將水稻採集至田邊，並自行組裝鋁擠型之拍攝架，將攝影機固定於拍攝架頂部，拍攝高度固定為 140 公分(鏡頭至水稻植被表面)。實驗規劃上，92 年一期作分蘗盛期採集 40 株水稻，92 年一期作幼穗形成期採集 52 株水稻，與農試所之樣本數相同。首先將水稻至於拍攝架之校正框內，一次放置一株，接著調整最適當之光圈，並啓動 AutoGain，最後進行一株水稻之多光譜影像拍攝，拍攝完畢後放置另一株水稻，直接進行多光譜影像拍攝，不需再調整光圈，拍攝實況如圖 3 所示。

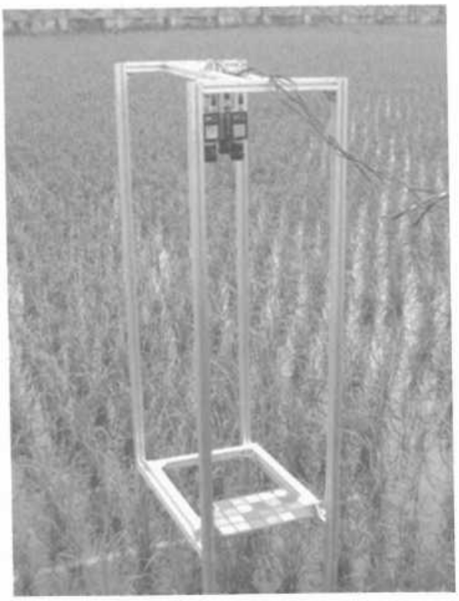


圖 3. 在安康農場試驗之拍攝實況。

(二)遙測系統之開發

在硬體設備方面，本研究為發展地面稻株含氮量多光譜影像遙測系統，在硬體方面包括多光譜影像擷取系統、定位系統及多功能田間載具。

多光譜影像擷取系統之硬體設備包括 CCD(CV-M50IR，JAI 公司)、鏡頭(16VM612，TAMRON 公司)、自行加工之鏡頭轉接環(李，

2001)、濾鏡(以黃(2002)之研究結果爲基礎，選用 555、660、680 及 780 nm 之 bandpass 濾鏡)、電腦設備及影像擷取卡(Viper Quad，Coreco 公司)及標準校正色板(ColorChecker，GretagMacbeth 公司)。在濾鏡選擇上，因 660 與 680 nm 之波長接近，且由先行試驗指出，採用三個波長(555、680 及 780 nm)與四個波長(555、660、680 及 780 nm)所得之結果極爲接近，故在往後之多光譜影像之拍攝與分析結果討論，僅採用三個波長(555、680 及 780 nm)。

本研究使用之定位系統爲即時動態衛星定位系統(Real-Time Kinematic GPS，RTK-GPS)，係 NovAtel 公司所生產之即時動態定位系統(型號爲 RT-2 GPS)，可執行公分等級精度之即時動態定位測量。

另外多功能田間載具之硬體設備方面，爲本系與農試所所執行之『田間作物性狀定點精準感測系統之開發研究』研究計劃所共同開發，除了提供行走之功能外，主要能使搭載之「多光譜影像擷取系統」具備水平移動、前傾後仰、左傾右斜、垂直移動及車輪前後移動等五個自由度之調整功能，並以油壓系統進行控制，此外，亦搭載標準色板擺設架與可調整之空間校正框，並具有田間行走之能力，且在多光譜影像擷取系統之儀器架加裝減震裝置，由橡膠墊片組成，目的爲了能加強多光譜影像擷取系統之減震效果。

(三)系統軟體之開發

在系統軟體開發方面，本研究以 Microsoft Visual C++ 6.0 爲程式主要開發環境，進行多光譜影像之擷取、定位訊號之擷取、定位訊號之座標轉換、地理資訊系統、多光譜影像分析、迴歸分析及等高線繪製之整合，其中多光譜影像分析程式利用 Matlab 6.0 進行開發，氮素等高線繪製以 ArcView 3.1 進行繪製，以下將詳細說明。

1. 多光譜影像之擷取

以 Microsoft Visual C++ 6.0 爲程式開發環境，採用影像處理卡(Viper Quad)所搭配之函式庫 Sapera 4.00(Coreco Inc.，2001)，利用此函式庫所提供之 ActiveX Control 進行程式開發。

2. 定位訊號之擷取

將定位訊號從定位系統透過 RS-232 與電腦進行溝通，進行定位訊號擷取，以 Microsoft Visual C++ 6.0 爲程式開發環境，並採用 Microsoft Visual C++ 6.0 之 MSCOM(Microsoft Communication Control)元件進行溝通，取得定位字串(經度、緯度、衛星數與接收狀態等)，而其字串爲一個由「，」分隔的字串，當我們經由通訊介面(RS-232)和 RTK-GPS 系統連接時，得到$PRTKA 字串，其欄位描述詳列於表 1，接著利用字串處理將需用到之欄位擷取下來，其中，以第 7(有效衛星數)、8(緯度)、9(經度)、13(緯度誤差)、14(經度誤差)、16(定位求解狀態)、17(RTK 狀態)與 18(定位種類)欄位最爲重要，當 16、17 與 18 之訊號爲(0，0，4)時，代表得到最佳解，換句話說此時爲解算出最高精度的座標。

3. 定位訊號之座標轉換

本研究採用 TWD 97 系統(民國 88 年以後之系統)，其轉換流程圖如圖 4 所示，將接收之 WGS 84 橢球座標(經緯度)進行橫麥卡托投影，得到二度分帶座標，而所使用之地理資訊系統開發套件 MapObjects(ESRI 公司)，包含一系列座標轉換之函式，可以很方便地將定位系統所得到之 WGS 84 座標系統轉換爲可以展示在地理資訊系統中的二度分帶座標(TWD 97)。

表 1. PRTKA 字串欄位之描述(NovAtel Inc.，1998)。

Field	Field type	Data Description
1	$PRTKA	Log header
2	week	GPS week number
3	sec	GPS time into the week(in seconds)
4	lag	Different lag in seconds
5	#sv	Number of matched satellities
6	#high	Number of matched satellities above RTK mask angle
7	L1L2 #high	Number of matched satellities above RTK mask angle with both L1 and L2 available
8	lat	Latitude of position in current datum, in decimal fraction format
9	lon	Longitude of position in current datum, in decimal fraction format
10	hgt	Height of position in current datum, in meters above mean sea level
11	undulation	Geoidal separation, in meters
12	datum ID	Curremt datum
13	lat σ	Standard deviation of latitude solution element, in meters
14	lon σ	Standard deviation of longitude solution element, in meters
15	hgt σ	Standard deviation of height solution element, in meters
16	soln status	Solution status
17	rtk status	RTK status
18	posn type	Poistion type
19	idle	Percent idle time, pertange
20	stn ID	Reference station identification
21	*xx	Checksum
22	[CR][LF]	Sentence terminator

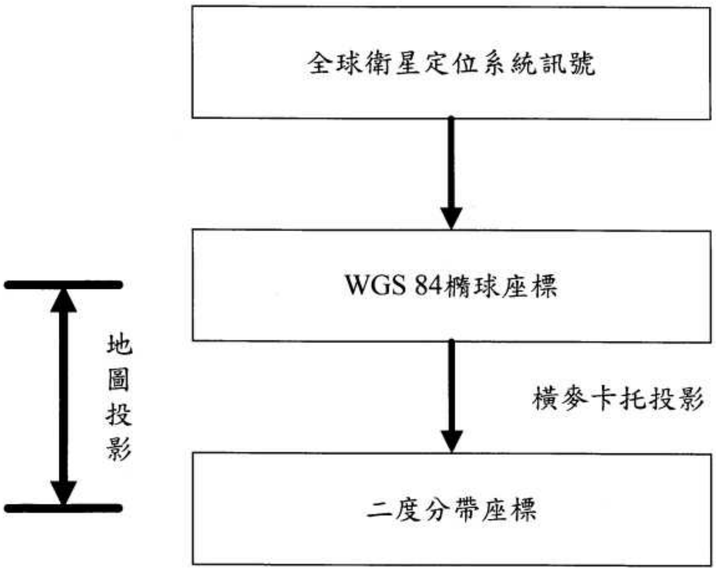


圖 4. TWD 97 之座標轉換流程。

4. 地理資訊系統

在 Microsoft Visual C++ 6.0 開發環境下進行程式撰寫，採用 ERSI 所發展出來的 MapObjects 函式庫，其爲支援開發地理資訊系統函式庫，故本開發軟體所輸出的電子地圖檔案格式也遵循 ERSI 所公佈的 Shapefile 檔案格式，支援的形式包括點(Point)、線(Line)、多邊形(Polygon)、長方形(Rectangular)與橢圓形(Ellipse)五種類型，而在儲存時只能選擇其中一種形式儲存。利用 MapObjects 函式庫可將電子地圖(Shapefile)進行局部放大、縮小、標記與還原等控制功能外，亦具有開啓舊圖層

(Shapefile)、建立新圖層、儲存圖層與清除圖層等圖層管理功能。

5. 多光譜影像分析

當取得水稻植株之多光譜影像後,必須針對影像之空間長度與灰階度值進行校正;而多光譜影像包括水稻植被與土壤等背景,必須予以分離,最後將分離出來的水稻植被之影像吸收度值與實際含氮量進行迴歸分析。

在空間校正部分,本研究利用 Gonzalez and Woods(1993)在 Digital Image Processing 一書所提及之空間轉換方法進行空間校正,利用一對雙線性方程式,將四個端點之眞實與失眞座標帶入,取得雙線性方程式之係數,便可利用此係數將眞實座標校正回來。而以眞實座標影像推算失眞座標影像時,經由雙線性轉換公式計算後,可能會得到非整數像素點,將選擇最鄰近之像素點對應(指定爲最鄰近之像素點的灰階度),而多光譜影像經由此空間校正之程序後,可得到眞實座標之影像。

在背景分離方面,本研究引用陳(2003)所提到之 Otsu(1979)所發展的一套非參數式與非監督式之自動尋找二元化灰階影像閥值的方法,將多光譜影像進行尋找最佳閥值之計算,當灰度值大於最佳閥值判定爲水稻植株,小於最佳閥值則爲土壤及陰影,可得到背景分離之水稻植株之多光譜影像。

而灰階校正方面,因拍攝多光譜影像時所調整光圈大小不盡相同,造成曝光量不一致,而爲了修正影像的曝光量,眞實地取得水稻植被多光譜影像灰階度值,本研究採用李(2001)之研究成果,使用標準色板作爲影像灰階度值校正之參考。

6. 迴歸分析

本研究利用 Matlab 6.1 程式開發軟體進行開發,採用多重線性迴歸(Multiple Linear Regression,MLR)進行迴歸分析,利用淨偏相關係數與偏 F 統計量作爲波長選擇準則,並進行迴歸分析。一般 MLR 之方程式如[1]式。

$$Y = K_0 + \sum_{i=1}^{n} K_i \times A_i$$ ....[1]

其中,Y 爲模式預測值(稻株之含氮量),i 爲波長代碼(555 nm 爲 1,680 nm 爲 2,780 nm 爲 3),n 爲波長個數(本研究設計爲包含 3 個波長),K_0 及 K_i 爲迴歸分析求得之係數,A_i 爲波長 i 之影像吸收度值,此影像吸收度值之定義如[2]所示(李,2001)。

¾“x 硨 $(A_i) = \log\left(\frac{1}{\frac{硨}{255}}\right)$ ....[2]

建立迴歸公式後,以下爲統計常使用之評判標準:

€Z³Œë· $(SEC) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_{C_i} - Y_{R_i}\right)^2}{n-m-1}}$ ..... --[3]

€—a‘ªŒë· $(SEP) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_{P_i} - Y_{R_i}\right)^2}{n-1}}$ ....[4]

€Z³Œë· $(RSEC) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Y_{C_i} - Y_{R_i}}{Y_{R_i}}\right)^2}{n-m-1}}$ ....[5]

€—a‘ªŒë· $(RSEP) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Y_{P_i} - Y_{R_i}}{Y_{R_i}}\right)^2}{n-1}}$ ....[6]

其中，n 為樣本個數，m 為 MLR 模式之波長個數，Y_R 為實驗量測值，Y_C 為校正組計算值，Y_P 為預測組計算值。

7. 等高線繪製

採用 ArcView GIS 3.1 軟體進行等高線繪製，先將具有含氮量之二度分帶座標點匯入，再將二度分帶座標點所對應之含氮量匯入，利用軟體所具有之功能(Surface → Create Contours 與 Surface → Interpolate Grid)進行等高線圖與塗彩網格圖繪製，其中 Create Contours 可以 Shapefile 格式進行存檔，而 Interpolate Grid 則可以 BMP 或 JPG 等其他圖片檔案格式進行儲存。

(四)凱氏氮之分析

凱氏氮之化學檢驗方面，為了瞭解稻株體內之含氮量多寡，必須進行傳統的化學實驗，以化學檢測方式精確地取得稻株體內之含氮量。本研究之氮素量測為採用凱氏氮量測法(Kjedahl Method)，進行化學實驗之含氮量測定，此方法參考中央國家標準局(1976)及植物生理學實驗所提到之凱氏氮總氮測定法(王等，1998)進行稻株體內含氮總量之測定，而凱氏氮測定流程如黃(2003)之說明。

三、結果與討論

本研究發展出來之稻株含氮量多光譜影像遙測系統，以下分為系統硬體之研製整合、系統軟體之開發與水稻含氮量多光譜影像檢量模式之建立。

(一)系統硬體之研製整合

稻株含氮量多光譜影像遙測系統之全貌如圖 5 所示，將四支 CCD 架設於圖 5 中之 A 位置，RTK-GPS 移動站天線則置於四支 CCD 正上方之 B 位置，標準色板擺設於攝影機下方之擺設架機構之 C 位置，而可調整之空間校正框置於 D 位置，個人電腦放置多功能田間載具之後方平台 E 位置，並將 CCD、RTK-GPS 移動站之訊號線分別接入電腦的影像擷取卡(Viper Quad)擷取通道及 RS-232 連接阜，另外 F 為橫移平台，具有水平移動、前傾後仰、左傾右斜、垂直移動等四個自由度之調整，而個人電腦、CCD 之電源由車用電瓶經 12V 轉 110V 之電壓轉換器所輸出之電源供應，RTK-GPS 移動站則直接接上 12V 電瓶。在 RTK-GPS 之靜態定位精度分析方面，結果指出 X 方向(東西)最大誤差為 2.52 公分，Y 方向(南北)最大誤差為 2.36 公分，顯示 RTK-GPS 具有極準確的定位精度。

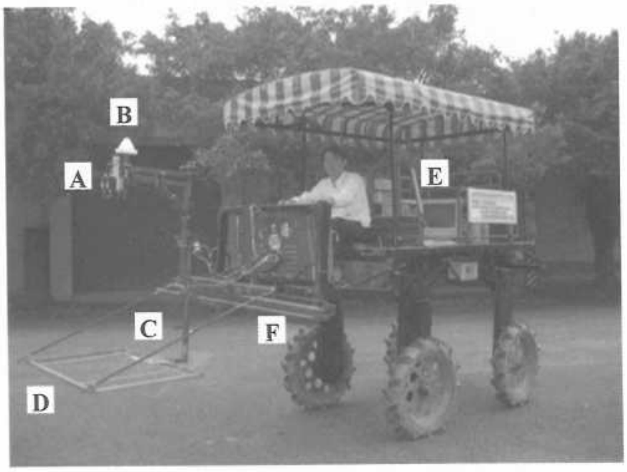


圖 5. 稻株含氮量多光譜影像遙測系統全貌。

(二)系統軟體之開發

本研究以 Microsoft Visual C++ 6.0 為程式主要開發環境，進行多光譜影像之擷取、定位訊號之擷取、定位訊號之座標轉換、地理資訊系統、多光譜影像分析、迴歸分析及等高線繪製等程式之整合，其中多光譜影像分析程式利用 Matlab 6.0 進行開發，等高線繪製以 ArcView 3.1 進行繪製。

1. 多光譜影像之擷取

自行開發之多光譜影像擷取系統具有擷取四張影像(四個通道之影像在 0.5 秒內擷取完成)、凍結影像(凍結影像顯示區之影像)、清除影像(清除影像顯示區之影像)、儲存影像(會

跳出新視窗詢問儲存檔名，BMP 格式)、開啓影像(開啓已儲存之影像)及產生預設存檔路徑及檔名(當按下擷取四張影像時，並以此路徑與檔名進行儲存)之功能。

2. 定位訊號之擷取

採用 strtok 函式將從 RTK-GPS 系統所擷取之字串進行分割，strtok 函式作用爲可找到下一個 token(可自訂符號，在此 token 設定爲「，」)進行分割，並搭配 for 迴圈。最後將字串處理後所得每一個字串資料分割出來，往後可依需要直接取得所需要的字串。

3. 定位訊號之座標轉換

在取得字串資料後，可將經緯度之字串進行座標轉換，其撰寫流程如圖 6 所示，可以很方便地將定位系統所得到之 WGS 84 座標系統轉換爲可以展示在地理資訊系統中的二度分帶座標(TW 97)。

4. 地理資訊系統

本開發軟體之地理資訊系統功能可分爲三類：檔案類、控制類與編輯類，檔案類包括：開啓舊的 Shapefile、開啓新的 Shapefile 與儲存新的 Shapefile，控制類包括：清除地圖、局部放大地圖、縮小地圖、移動地圖、標記地圖與將地圖還原最初狀態，編輯類包括：畫點、線、長方形、多邊形及橢圓形，程式介面如圖 7 所示(以上所說明之功能與圖 7 中工具列的排列相同，由左至右)。

圖 6. TWD 97 之座標轉換撰寫流程圖。

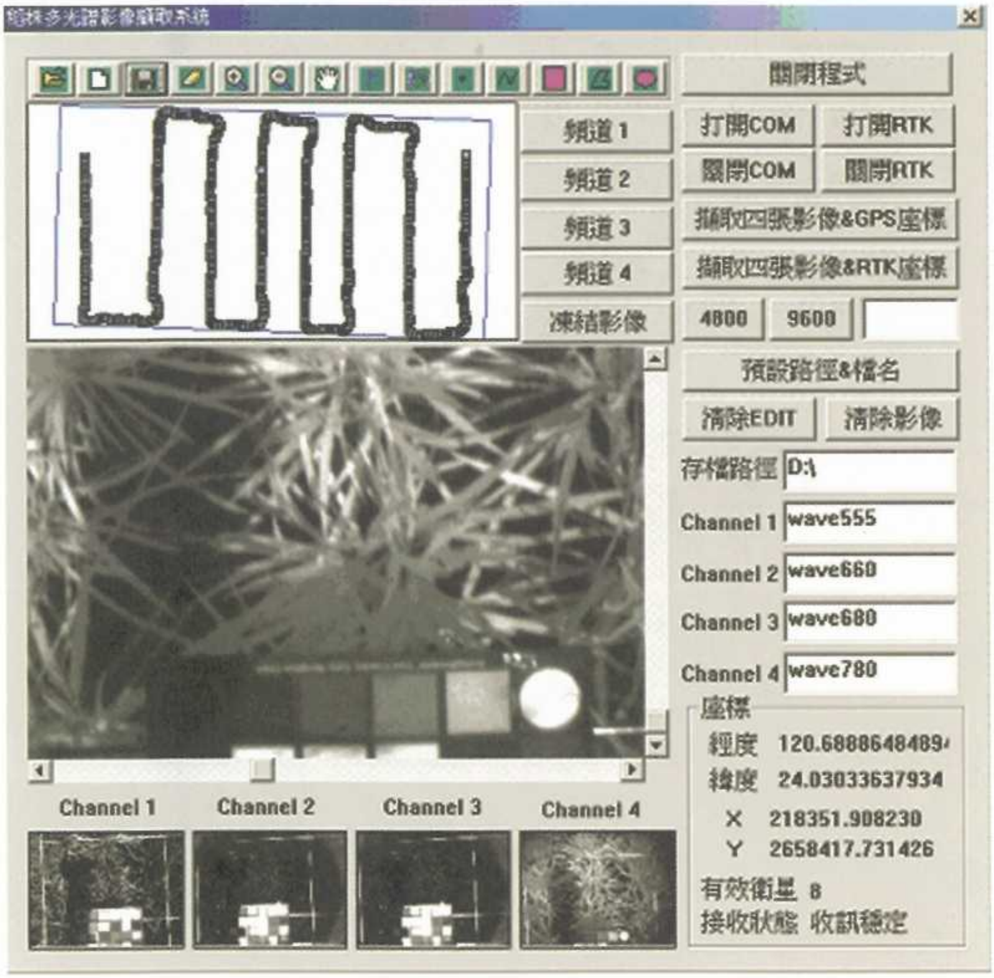


圖 7. 自行開發系統軟體之程式介面。

5. 多光譜影像分析

多光譜影像分析程式包括空間校正、設定遮罩、背景分離、灰階校正與平均灰度值之計算，因爲此部份之運算皆採用矩陣方式進行運算，故採用 Matlab 6.0 之程式開發軟體進行開發，可加快執行速度，最後再與 Visual C++ 6.0 進行連結。

圖 8 爲水稻多光譜原始影像，將空間校正框之周圍四點平移至設定的影像大小(長和寬之 pixels 數與實際大小成比例)，圖 9 爲空間校正後之多光譜影像，圖 10 爲設定遮罩後之影像，圖 11 爲背景分離之反白影像(以反白影像顯示較爲清楚)，圖 12 爲灰階校正之反白影像(原因同圖 11)，最後利用[9]式計算出水稻多光譜影像之平均灰階度值，最後將計算結果與其所對應之波段與樣本編號存成文字檔。

$$Average_gray = \frac{\sum_{i=0}^{n}(i\times number_i)}{\sum_{i=0}^{n} number_i} \quad ....[9]$$

其中，$Average_gray$ 爲平均灰階度值，i 爲灰階度，n 爲灰階度範圍，在此爲 255，$number_i$ 爲影像中灰階度爲 i 之個數。

6. 迴歸分析

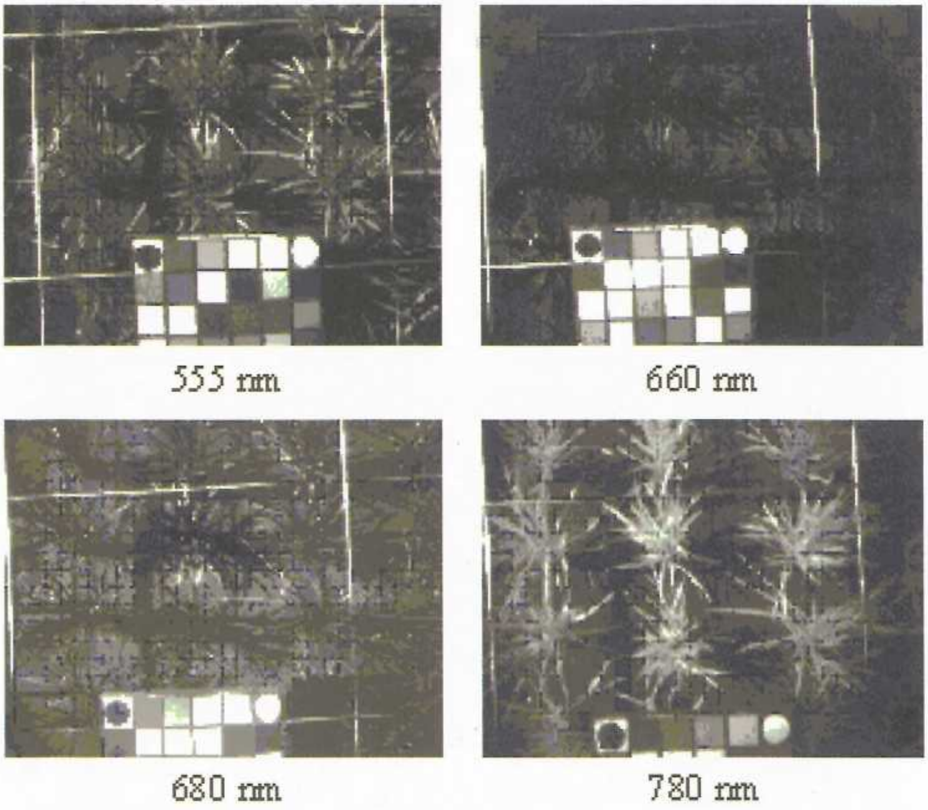


圖 8. 水稻多光譜原始影像。

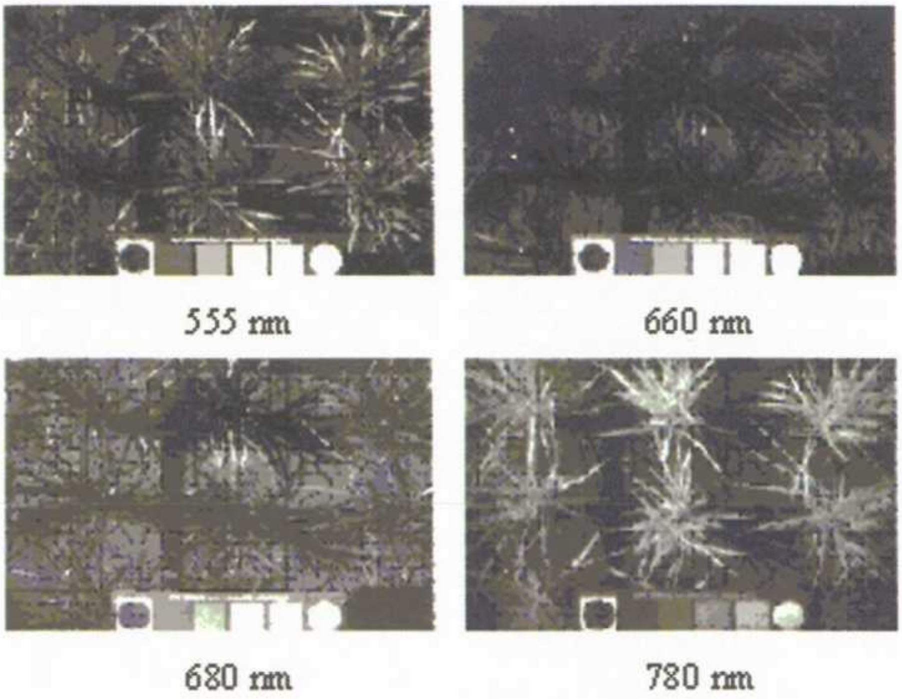


圖 9. 空間校正後影像。

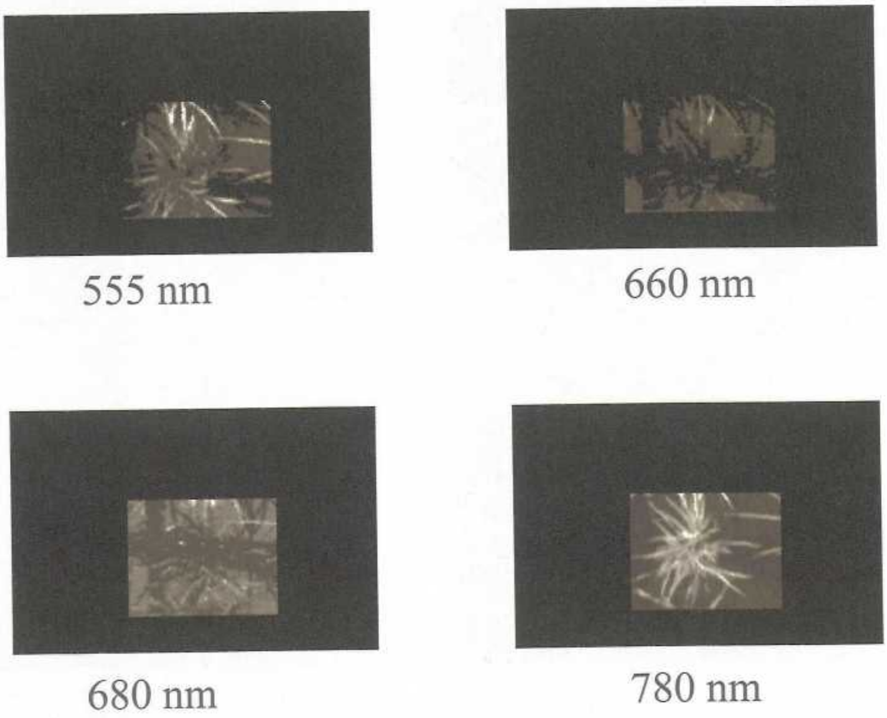


圖 10 設定遮罩後之單叢水稻影像。

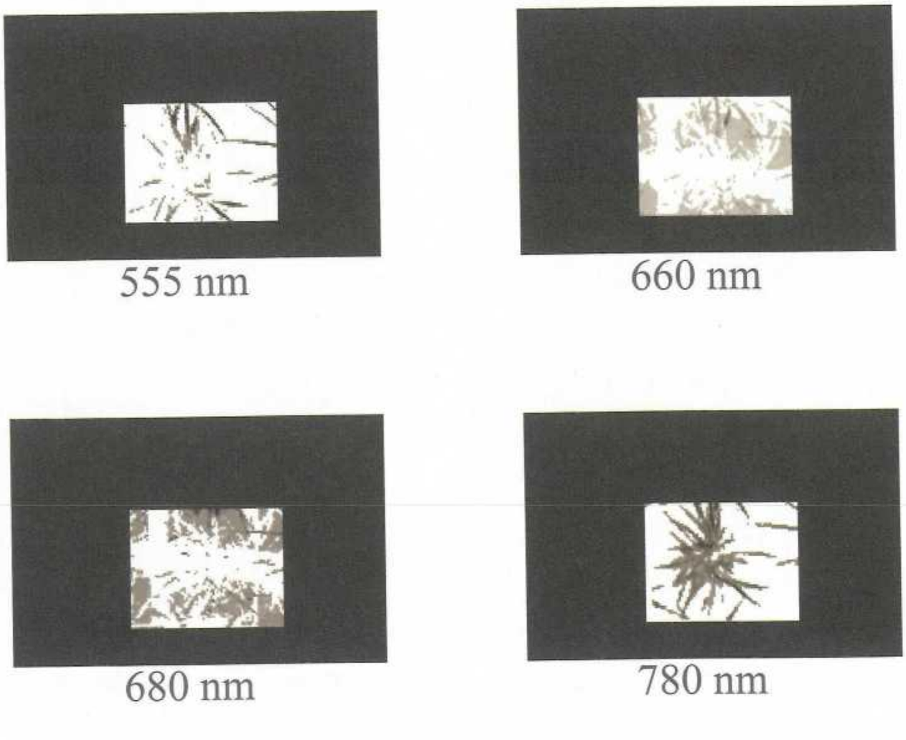


圖 11. 背景分離後之水稻多光譜反白影像。

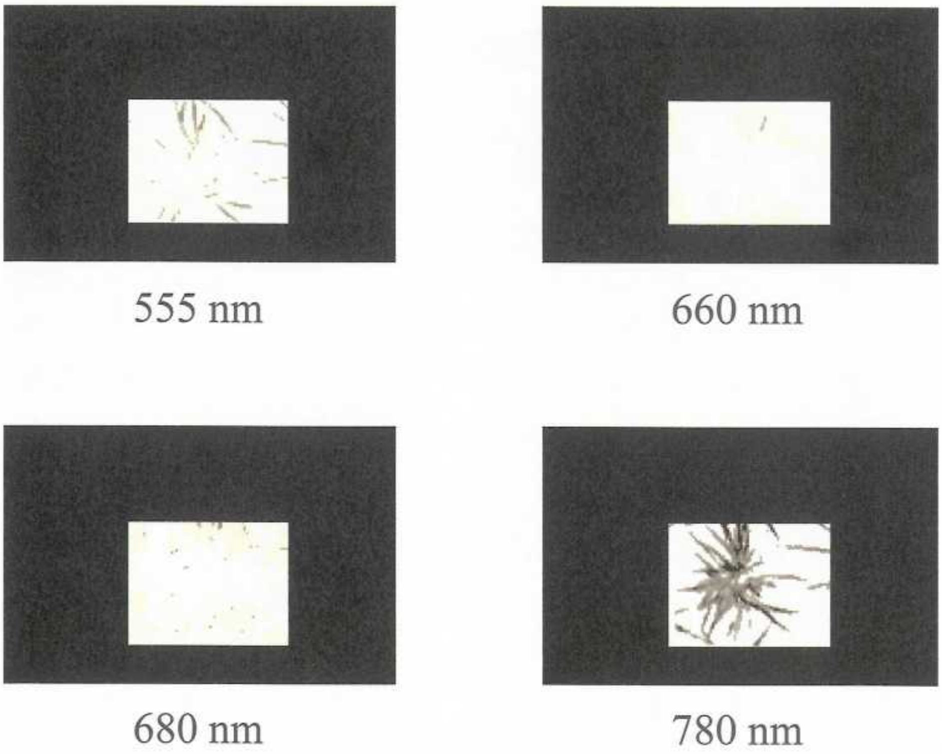


圖 12. 灰階校正後之水稻多光譜反白影像。

以多重線性迴歸之方式進行檢量線之建立。此迴歸分析程式之流程如下：首先自動讀取紀錄多光譜影像平均灰階度值與凱氏氮化驗值之文字檔，並將灰階度值換算為吸收度值([2]式)，接著以 2：1 之樣本個數比例進行校正組與預測組之分組，且使校正組之凱氏氮範圍恆大於預測組之凱氏氮範圍，接著採用 Matlab 內鍵之 mlr 函式與 validmod 函式進行檢量線之建立(取得波長之係數)與驗證，並計算 r_c、SEC、RSEC、r_p、SEP、RSEP 等判定檢量線模式優劣之指標。

7. 等高線繪製

將 Visual C++ 6.0 與 ArcView GIS 3.1 之地理資訊軟體進行結合，利用 ArcView 軟體內之 Create Contours 與 Interpolate Grid 功能進行等高線圖與塗彩網格圖繪製，分別如圖 13 與圖 14 所示。

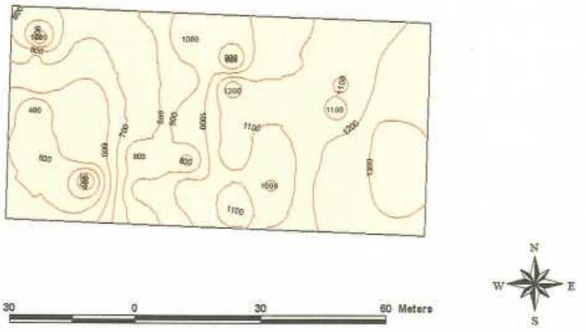


圖 13. 水稻含氮量(乘 1000)分佈之等高線圖。

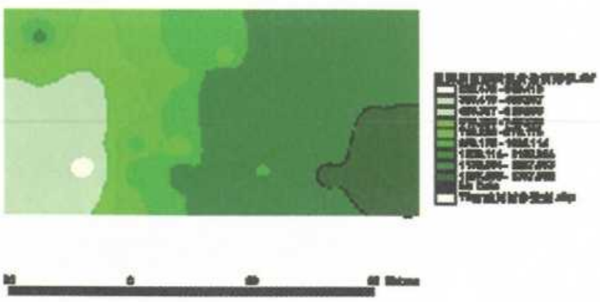


圖 14.水稻含氮量(乘 1000)分佈之塗彩網格圖。

(三)水稻含氮量多光譜影像檢量模式之建立

以台農 67 號水稻(台中農試所 78 號田區)與台粳 14 號水稻(臺大安康農場)爲實驗樣本，分別針對分蘗盛期與幼穗形成期進行多光譜影像遙測，接著利用化學方式量測出植株之含氮量，最後針對水稻多光譜影像之吸收度值與植株含氮量進行迴歸分析。

1. 九十二年一期作台農 67 號水稻分蘗盛期

針對 92 年台中農試所一期稻作分蘗盛期之水稻進行田間多光譜影像拍攝，利用自行開發之多光譜影像擷取系統同時擷取 555、680 及 780 nm 之多光譜灰階影像，並以化學方式測量水稻含氮量(含氮量百分比，%)，最後以自行開發之多重線性迴歸分析軟體進行分析，分析結果(表 2)指出，校正組(27 個樣本)之 r_c = 0.7968、SEC = 0.1948 及 RSEC = 33.84%，預測組(13 個樣本)之 r_p = 0.7622、SEP = 0.2490 與 RSEP = 26.62%，顯示利用三個波長(555、660 及 780 nm)之多光譜影像進行水稻含氮量之檢測可達到不錯的效果，其檢量線如[10]所示。

$$N_{67T} = -1.01667 - 0.22198 A_{555} + 0.605938 A_{680} + 0.873292 A_{780} \qquad [10]$$

其中，N_{67T} 代表台農 67 號分蘗盛期水稻含氮量(%)，A_{555}、A_{680} 及 A_{780} 分別依序爲水稻在波長爲 555、680 及 780 nm 時多光譜影像之平均吸收度值。

表 2. 九十二年一期作台農 67 號之個別時期與綜合迴歸分析結果。

水稻種類	r_c	SEC	RSEC	r_p	SEP	RSEP
台農67號(分蘗盛期+幼穗形成期)(89株)	0.7667	0.1958	39.62%	0.7085	0.2252	33.82%
台農67號分蘗盛期(40株)	0.7968	0.1948	33.84%	0.7622	0.2490	26.62%
台農67號幼穗形成期(52株)	0.7712	0.2006	33.88%	0.7948	0.2248	31.63%

註：本表之分析採用 555、680 及 780 nm 三個波長。

2. 九十二年一期作台粳 14 號水稻分蘗盛期

針對 92 年臺大安康農場一期稻作分蘗盛期之水稻進行研究，經迴歸分析結果(表 3)顯示，校正組(26 個樣本)之 r_c = 0.6069、SEC = 0.1145 及 RSEC = 9.79%，預測組(14 個樣本)之 r_p = 0.5330、SEP = 0.1348 與 RSEP = 12.35%，其檢量線如[11]所示。

$$N_{14T} = -1.21221 + 1.088043 A_{555} + 0.085386 A_{680} - 0.85384 A_{780} \qquad [11]$$

其中，N_{14T} 代表台粳 14 號分蘗盛期水稻含氮量(%)。

表 3. 九十二年一期作台稉 14 號之個別時期與綜合迴歸分析結果。

水稻種類	r_c	SEC	RSEC	r_p	SEP	RSEP
台稉14號(分蘗盛期+幼穗形成期)(92株)	0.8032	0.1441	16.17%	0.7285	0.1734	18.13%
台稉14號分蘗盛期(40株)	0.6069	0.1145	9.79%	0.5330	0.1348	12.35%
台稉14號幼穗形成期(52株)	0.6085	0.1768	20.03%	0.5925	0.1803	22.26%

註：本表之分析採用 555、680 及 780 nm 三個波長。

3. 九十二年一期作台農 67 號水稻幼穗形成期

針對台中農試所一期稻作幼穗形成期之水稻進行多光譜影像拍攝，經由迴歸分析之結果(表 2)爲：校正組(35 個樣本)之 $r_c = 0.7712$、SEC = 0.2006 及 RSEC = 33.88%，預測組(17 個樣本)之 r_p = 0.7948、SEP = 0.2248 與 RSEP = 31.63%，其檢量線如[12]所示。

$$N_{67P} = 0.609383 + 0.748994A_{555} - 0.45165A_{680} - 0.33705A_{780} \quad [12]$$

其中，N_{67P} 代表台農 67 號幼穗形成期水稻含氮量(%)。

4. 九十二年一期作台稉 14 號水稻幼穗形成期

針對臺大安康農場一期稻作幼穗形成期之水稻進行多光譜影像拍攝，經由迴歸分析之結果(表 3)爲：r_c = 0.6085、SEC = 0.1768、RSEC = 20.03%、r_p = 0.5925、SEP = 0.1803 及 RSEP = 22.26%，其檢量線如[13]所示。

$$N_{14P} = -0.50746 + 0.54561A_{555} + 0.31545A_{680} - 1.02725A_{780} \quad [13]$$

其中，N_{14P} 代表台稉 14 號幼穗形成期水稻含氮量(%)。

5. 綜合分析

若將同一品種之水稻於分蘗盛期與幼穗形成期之所有樣本集中一起進行綜合分析，不僅可增加樣本的差異性，亦可比較不同生長階段之差異性或通用性。

進行台中農試所之台農 67 號水稻含氮量多重線性迴歸分析，結果顯示以 555、680 及 780 nm 三波長之校正組(59 個)分析結果(表 2)爲 r_c = 0.7667、SEC = 0.1958 與 RSEC = 39.62%，預測組(30 個)分析結果爲 r_p = 0.7085、SEP = 0.2252 和 RSEP = 33.82%(刪除差異過大之 3 個水稻樣本)，其檢量線如[14]所示。

$$N_{67TP} = -2.15545 + 0.682916A_{555} + 0.324428A_{680} + 0.364053A_{780} \quad [14]$$

其中，N_{67TP} 代表台農 67 號水稻含氮量(分蘗盛期與幼穗形成期)(%)。

若將台農 67 號水稻在個別生長時期(分蘗盛期或幼穗形成期)之分析結果與綜合分析

(分蘗盛期 + 幼穗形成期)進行比較，如表 2 所示，綜合分析(分蘗盛期+幼穗形成期)之迴歸結果與分蘗盛期及幼穗形成期之結果差異不大，顯示台農 67 號水稻之含氮量與多光譜影像(555、680 與 780 nm)之表現在不同生長時期(分蘗盛期與幼穗形成期)有一定程度之相關性，故在未來檢測不同時期之水稻(台農 67 號)時，亦可利用綜合分析所得之檢量線([14]式)來預測水稻含氮量。

至於台稉 14 號之水稻，將臺大安康農場之台稉 14 號水稻樣本進行綜合分析(分蘗盛期與幼穗形成期)，經由多重線性迴歸分析結果(表 3)指出，校正組(61 個)之 r_c = 0.8032、SEC = 0.1441 與 RSEC = 16.17%，預測組(31 個)為 r_p = 0.7285、SEP = 0.1734 和 RSEP = 18.13%，達到不錯的結果，其檢量線如[15]所示。

$$N_{14TP} = -0.48169 + 0.592968A_{555} + 0.183717A_{680} - 0.62266A_{780} \quad [15]$$

其中，N_{14TP} 代表台稉 14 號水稻含氮量(分蘗盛期與幼穗形成期)(%)。

若將台稉 14 號水稻在個別生長時期之分析結果(分蘗盛期或幼穗形成期)與綜合分析(分蘗盛期 + 幼穗形成期)進行比較，如表 3 所示，綜合分析所得之 r_c 與 r_p 大幅提高，且 SEC、SEP、RSEC 與 RSEP 等誤差參數指標介於分蘗盛期與幼穗形成期之間，顯示綜合分析對於提昇檢測水稻在不同生長時期含氮量之準確度有顯著的效果。

若將表 2(台農 67 號)及表 3(台稉 14 號)進行結果比較，顯示台稉 14 號所得之結果較佳(RSEC 與 RSEP)，其原因可能為實驗方式不同所造成，台稉 14 號水稻之拍攝狀態為完全靜止，而台農 67 號水稻為怠速震動狀態，可能在此造成一些誤差。

四、結語

本研究以多光譜影像遙測技術為基礎，自行開發出稻株含氮量多光譜影像遙測系統，此系統之建構包括硬體研製整合及軟體開發，另外亦利用此系統所建立之水稻含氮量多光譜影像檢量模式進行探討。

在硬體研製整合上，稻株含氮量多光譜影像遙測系統已成功結合多光譜影像擷取系統(自行開發完成)、定位系統及多功能田間載具系統，其中，定位系統採用即時動態全球衛星定位系統(RTK-GPS)，並搭配標準色板(灰階度校正)、自行建構之可調整空間校正框(空間校正)、電壓轉換器與車用電池(提供電源)，構成一套可獨立於田間作業之地面多光譜影像遙測系統。在 RTK-GPS 之靜態定位精度分析方面，結果指出 X 方向(東西)最大誤差為 2.52 公分，Y 方向(南北)最大誤差為 2.36 公分，顯示 RTK-GPS 具有極準確的定位精度。

在軟體開發上，利用 Microsoft Visual C++ 6.0 進行程式撰寫，並與 Matlab 6.0 及 ArcView 3.1 完成整合，功能包含多光譜影像之擷取、定位訊號之擷取、定位訊號之座標轉換、地理資訊系統、多光譜影像分析、迴歸分析及等高線繪製，其中多光譜影像分析包括空間校正、設定遮罩、背景分離(二元化)、灰階校正與平均灰度值之計算。

利用此系統所建立之水稻含氮量多光譜影像檢量模式方面，試驗品種為 92 年一期作之台

農 67 號(台中農試所)與台稉 14 號(台大安康農場)，分別針對分蘗盛期與幼穗形成期進行試驗，實驗結果指出，對於 92 年一期作之台農 67 號水稻(分蘗盛期 + 幼穗形成期)，採用 555、680 及 780 nm 三個波長進行檢量模式分析，可得到 r_c = 0.7667、SEC = 0.1958、RSEC = 39.62%、r_p = 0.7085、SEP = 0.2252、RSEP = 33.82%之結果，雖個別生長時期(分蘗盛期與幼穗形成期)之檢測含氮量檢量線已建立，在此提供一不分生長階段之含氮量檢量線。

對於 92 年一期作之台稉 14 號水稻(分蘗盛期 + 幼穗形成期)，亦採用 555、680 及 780 nm 三個波長進行檢量模式分析，可得到 r_c = 0.8032、SEC = 0.1441、RSEC = 16.17%、r_p = 0.7285、SEP = 0.1734、RSEP = 18.13%之結果，在建立個別時間(分蘗盛期與幼穗形成期)檢量線的同時，亦提出另外一個選擇(綜合時期之檢量線)。

本研究所開發之稻株含氮量多光譜影像遙測系統，能夠以非接觸、非破壞方式擷取水稻之多光譜影像，並藉由自行開發之軟體進行分析，最後輸出水稻田區之含氮量分佈圖，提供施肥的依據，爲精準農業提供一套有效且準確的遙測系統。

五、誌謝

本項研究承蒙行政院農業委員會(89 遙測-4.1-糧-41(Z), 90 農科-4.1.1-農-C2(Z)及農委會農業試驗所經費(91 農科-5.1.3-農-C2(Z), 92 農科-1.1.6-農 C1(Z))支持，謹藉以表示由衷感謝。

六、引用文獻

王月雲、陳是瑩、童武夫。1998。植物生理學實驗。台北：藝軒圖書出版社。

中央國家標準局。1976。廢水污水總凱氏氮檢測法。標準總號：3944。

汪呈因。1974。稻作學與米。初版，p118-120。台北：徐氏基金會。

李明達。2001。水分逆境下植物影像特徵分析之研究。碩士論文。台北：臺灣大學生物產業機電工程學所。

陳世銘、黃政偉、吳德輝、楊智凱、黃竣吉、蔡養正、繆八龍。2002a。稻株含氮量地面多光譜影像遙測系統之開發研究。p.93-99。「水稻精準農業(耕)體系之研究」計畫成果研討會暨展示會大會手冊”，2002。農委會農業試驗所，臺中縣。

陳世銘、黃政偉、黃竣吉、吳德輝、楊智凱、蔡養正、繆八龍。2002b。稻株含氮量地面多光譜影像遙測系統之開發研究。台灣農業機械 17(5)：10-12。

陳加增。2003。以多光譜影像與決策支援系統應用於蔬菜作物氮肥管理之研究。博士論文計畫書。臺灣大學生物產業機電工程學所，臺北市。

黃政偉。2002。多光譜影像應用於水稻植株含氮量之遙測。碩士論文。臺灣大學生物產業機電工程學所，臺北市。

黃竣吉。2003。稻株含氮量多光譜影像遙測系統之研究。碩士論文。臺灣大學生物產業機電工程學所，臺北市。

鄧耀宗、李蒼郎、李瑞興。1999。台灣稻作發展史。382。台灣省政府農林廳，南投縣。

蕭國鑫、劉治中、史天元。2000。遙測與 GIS 結合應用於水稻田辨識。航遙及遙測學刊。5(4)：1-22。

Chao, K., Y. R. Chen, W. R. Hruschka and B. Park. 2001. Chicken Heart Disease Characterization by Multi-spectral Image. Applied Eng. in Agric. 17(1): 99-106.

Chen, S., C. W. Huang, T. H. Wu, C. K. Yang, C. C. Huang, Y. Z. Tsai and P. L. Miao. 2002a. Remote sensing of nitrogen content in rice crop using multi-spectral imaging. p.466-472. *In:* Proceedings of International Symposium on Automation and Mechatronics of Agricultural and Bioproduction Systems. National Chiayi University, Chiayi, Taiwan.

Chen, S., C. W. Huang, T. H. Wu, C. K. Yang, C. C. Huang, Y. Z. Tsai and P. L. Miao. 2002b. Development of a remote sensing system using multi-spectral imaging for determining nitrogen content in rice crop.(submitted for publication)

Chen, S. and M. T. Li. 2001. Multispectral Imaging of Chlorophyll Content for Vegetable Status Monitoring. p.603-608. *In:* Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering, Proceedings of the 6th International Symposium held in Potsdam 2001. Potsdam, Germany: Institute of Agricultural Engineering Bornim e.V. (ATB), Berlin.

Chen, S., M. T. Li, C. T. Chen, Y. C. Lin, C. W. Huang, T. H. Wu and K. W. Hsieh. 2002. Remote sensing of crop growth characteristics in greenhouses. In "Proceedings of International Symposium on Design and Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouses", eds. S. Chen and T. T. Lin, eds. Acta Horticulturae 578:295-301.

Coreco Inc., 2001. Sapera 4.00. Ver. 4.00. Canada.: Coreco Inc

Du Yong, P. M. Teillet and J. Cihlar. 2002. Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. Remote Sens. Environ. 82:123-134.

Goel P. K., S. O. Prasher, R. M. Patel, D. L. Smith and A. DiTommaso. 2002. Use of airborne multi-spectral imagery for weed detection in field crops. Trans. ASAE 45(2): 443-449.

Gonzalez R. C. and R. E. Woods. 1992. Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company Inc., U.S.A.

Han, S., L. Hendrickson and B. Ni. 2001. Comparison of Satellite Remote Sensing and Aerial Photography for Ability to Detect In-Season Nitrogen Stress in Corn. ASAE Paper No. 011142. St. Joseph, Mich.: ASAE.

NovAtel Inc., 1998. MiLLennium GPSCard Software Ver. 4.50 Command Description Manual. Calgary, Canada.: NovAtel Inc.

Otsu N. 1979. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics 9(1): 62-66.

Park, B., K. C. Lawrence, W. R. Windham and R. J. Buhr. 2001. Hyperspectral Imaging for Detecting Fecal and Ingesta Contamination on Poultry Carcasses. ASAE Paper No. 013130. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Yang, C., J. H. Everitt, J. M. Bradford and D. E. Escobar. 2000. Mapping grain sorghum and yield variations using airborne multispectral digital imagery. Applied Eng. in Agric. 43(6): 1927-1938.

Development of Multi-Spectral Remote Imaging System to Measure Nitrogen Content in Rice

Suming Chen[1], Chun-Chi Huang[1], Chih-Kai Yang[2], Chia-Tseng Chen[1], Cheng-Wei Huang[1], Te-Hui Wu[3], Yang-Zenq Tsai[4] and Pa-Lung Miao[5]

[1] Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, Nation Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC

[2] Division of Agriculture Engineering, Agriculture Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC

[3] Department of Biomechatronic Engineering, National Chiayi University, Chiayi, Taiwan, ROC

[4] Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC

[5] The Experimental Farm, Nation Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC

E-mail: schen@ccms.ntu.edu.tw

ABSTRACT

This study is aimed to develop a multi-spectral remote imaging system to measure the nitrogen content in rice. In the integration of the hardware, the multi-spectral imaging system, the position system and the multi-function field-carrier were successfully integrated to develop a ground-based remote sensing system. As for the software, Microsoft Visual C++ 6.0, Matlab 6.0 and ArcView 3.1 were used to develop a program. The program was implemented with functions including acquisition of the multi-spectral images, collection of the position signals, transformation of geographic information, processing of multi-spectral images, analysis of model regressions and expression of contours. The study used the RTK-GPS (Real-Time Kinematic GPS) as position system, with an accuracy of 2.52 and 2.36 cm in X- and Y-direction respectively. The multi-spectral imaging model is developed by using the multi-spectral remote imaging system as a measurement platform. Regarding rice of Tainung 67 variety (1st crop, 2003), the model used three band wavelengths (555, 680 and 780 nm) to predict the nitrogen content in rice. The model gave the results as r_c = 0.7667, SEC = 0.1958, r_p = 0.7085 and SEP = 0.2252. As to rice of Taiken 14(1st crop, 2003), the model also using wavelengths at 555, 680 and 780 nm showed the results of r_c = 0.8032, SEC = 0.1441, r_p = 0.7285 and SEP = 0.1734. The study developed a multi-spectral remote imaging system to measure nitrogen content in rice, which is capable to obtain the multi-spectral images in non-contact and non-destruction way, and the nitrogen content distribution can be analyzed in rice fields by the using the self-developed program. The system will provide a basis of future application to site-specific management of fertilizer, and to the precision agriculture.

Key words: Multi-Spectral Imaging, Rice, Remote Sensing, RTK-GPS, Precision Agriculture.

水稻精準農業體系
變率施噴系統之研發與評估
207-218, 2003

變率施噴系統之研發與評估

梁連勝、陸龍虎、徐武煥、黃國祥、蔡致榮*
行政院農業委員會農業試驗所農工組
E-mail: jrtsay@wufeng.tari.gov.tw

摘要 ---------- 208

一、前言 ---------- 208

二、方法簡述 ---------- 210

三、結果與討論 ---------- 212

四、結語 ---------- 215

五、誌謝 ---------- 216

六、引用文獻 ---------- 216

ABSTRACT ---------- 218

變率施噴系統之研發與評估

梁連勝、陸龍虎、徐武煥、黃國祥、蔡致榮*
行政院農業委員會農業試驗所農工組
E-mail: jrtsay@wufeng.tari.gov.tw

摘要

一組以專家決策系統事先編製地圖為基礎之變率施噴系統被研發，以適應台灣稻田之空間變異，使用 Mid-Tech 公司 TASC 6200 主控器之流量控制噴霧系統當主要架構，以執行一般的自動噴霧功能。變率施噴系統之評估已測試了差分全球定位系統(DGPS)接收器之靜態與動態訊號反應、噴藥機施噴流量及噴嘴流量/噴桿樣式。本研究主要結果如下：具有平均靜態誤差大約 1.6 m 與平均 2DRMS 值大約 2.3 m，此差分全球定位系統 RX-400p 接收器之準確度足以用於導航，但尚不足以適用於田間工作。動態準確度測試所得之趨勢與其他的研究者獲致之結果有差異，不過差分全球定位系統的速率資料可用以提供噴霧機速度資訊。 此差分全球定位接收器在行進速度 0.2 至 1 m/s 時，於經緯度方向表現一致而具有平均動態位置誤差 2.23m，而在行進速度 0.4 至 1 m/s 時其平均偏差時間為 3.48 秒。較高的噴施率及行進速度會導致較高的噴霧機流量誤差，校正係數 153.1 及 155 可用以校正流量計而無明顯之差異。四種噴嘴型式之噴嘴流量/噴桿樣式由於變異係數值皆小於 5%，顯然相當一致，本研究所收集之資料對改良及運用適於台灣情況之變率施噴機具提供極有價值的資訊。

關鍵詞：變率噴霧、差分全球定位系統、稻田、精準農業。

一、前言

傳統之病蟲害防治施噴作業，咸少顧及同一區塊田間之變異需求，而採用不變且預定之施噴率。在這種情況下，無法避免農藥施噴過量與不足。非必要及過量施噴農業化學藥劑，將導致環境惡化增加。另一方面，因施噴農藥不足，必然使農業栽培環境所面臨的病蟲、害防治效果為之降低。因此，對特定地點，系統僅提供所須之特定噴率將更具有效率，符合效益與經濟原則，並可降低對環境之危害至最小限度。為符合前述考量，被歸類為精準農耕範疇之變率技術，已經由全世界許多研究組織大量的研究，並研發各類系統，期以依田間條件施用不同之噴藥率。

本研究主旨在於研發一農藥變率施噴系統，使基於專家決策系統所提供處方圖以適應台灣水田之空間變異。特定目標在於利用國產氣輔噴霧機裝配 Mid-Tech 公司生產，具有流量控制功能之變率施噴系統，以達成自動噴霧功能，並進行 DGPS 接收器動態及靜態訊號反

應、噴霧器流量、噴嘴流量與噴桿噴霧式樣等初期評估。

(一)變率農藥施噴

Ollila *et al.*(1990)以直接噴射式“Field Grid Sense”系統測試液態施藥機，發現它是可行但改變所須噴施率卻顯得遲緩(需 4.6~9.4 秒)。Miller and Smith(1992)建立一套直接噴頭注入式噴桿，模擬藥劑於緊接每個噴嘴之上方流經由小計量口注入。在起始每一變異噴頭之排放濃度可藉由改變計量口間壓力差而達成。然而，在評估後，他們建議使用一組正向位移泵浦取代改變注入壓力差而改變注入流率。Bennett and Brown(1997 and 1999)為了精確使用除草劑，發展並測試一套直接噴頭注入系統，其計量系統包含一排線性作動泵浦，個別對應每一組噴頭，在測試床與定點作物施噴均表現良好。Walker and Bansal(1999)提出農藥變率施噴用噴嘴設計之新概念，宣稱具有降低成本與簡化變率施噴機構複雜性之潛力。可變孔徑噴頭(VON)之孔口大小可因流體壓力之小幅改變而大幅度變化。由於具較小噴施角度，現階段研發之 VON 噴嘴顯然較適合空中施藥機使用，更多研究必須被進行以更進一步決定霧粒大小分佈，以及改善噴霧樣式。

Feltonet *et al.* (1991)基於綠色葉片、地表覆蓋及土壤對太陽輻射之反射特性開發了 Weed Detector 系統，以進行選擇性雜草之點狀施噴。依據在 33 個農場 2681 公頃試區試驗結果，相對於全部處理而言，可節省 90%之施噴面積。Lee *et al.*(1999)發展一種即時智慧型雜草控制機械手臂，以便利用機械視覺與精準施噴進行行間雜草之選擇性殺草劑施噴。機械手臂之視覺系統處理一個影像需時 0.34 秒，使得該系統可在 1.2 km/hr 的連續速率下行進。結果顯示，從蕃茄量產栽培田所取得影像中，73.1%蕃茄及 68.8%雜草可被正確地予以辨識。

為同時控制藥液壓力與噴頭瞬間流量脈寬調變(PWM)，Glies(1997)證實暫時平均藥液流量及由液壓噴霧器噴出霧粒粒徑分佈之獨立控制。此種技術是有用的，因為當噴施藥霧偏離目標移動，可藉由減少藥劑霧粒粒徑中之小霧粒之體積比率而予以降低。然而，在高速氣流通過噴嘴情況下，施噴霧粒之二次碎裂，可明顯降低該技術之效果。在實際田間施噴下，施噴壓力、行進速度及施噴量等因子都會改變，Wolf(2000)分析使用混合脈衝施噴技術以管理施噴霧粒之粒徑；結果顯示，當使用此種系統時，改變某變數對粒徑並無強烈之影響，因此較合理之粒徑控制應可預期。Holtz *et al.* (2000)評估四種使用在農藥與肥料變率施噴用噴霧器調節閥之性能，結論指出 Capstan Sharpshooter™ 基於 PWM 原理使用中級噴嘴(8002 及 8005)展現最佳之多元品質。

(二)田間載具之定位(變率施藥機)

熟知之全球衛星定位系統(GPS)包含應用太空衛星以決定載具之定位，而且無需農友之結構作為(Auerhammer and Muhr,1991)。GPS 係由一羣 24 個衛星及其地面站，所組成遍及全球的無線電導航系統。GPS 使用這些衛星當參考點以計算地球表面位置，其可準確至一公分範圍內。GPS 應用三角定位原理，藉由已知距三個或更多衛星之距離，接收器經由一組方程式可計算出其位置。由三個參考衛星所提供之資訊，係在已知海拔高度計算其經、緯度所必需的；若欲計算包含海拔之資料，則四個參考衛星之資訊是必需的。近年來，由於 GPS 優異之導航能力，已被應用在許多農業用途，尤其是產量監測及農業藥劑(農藥及肥料)之施用。Auernhammer(Wager 於 1999 年報導)提出精準農耕之準確度需求，所謂導航即在協同機械使用情形下尋找農田位置，其精確度達

±10 公尺即已足够。爲達成田間作業及資料之必要取得與紀錄，±1 公尺的精確度是必須的，尤其像收穫作業的小作業寬度情形，可能衍生相當問題，使得較佳準確度是値得擁有的。如果考慮自動導引載具之操作靈巧，例如作業面寬廣之接連迴轉或聯合收穫機作業，精確度±10 公分是必要的。當自動導引雜草控制施噴機具時，精確度需求必須更高。Ayers and Anglund (2000)以基於壓力及噴射噴霧控制技術兩種方式，探討地面噴霧器以固定及變率施噴化學藥劑之田間作業性能，發現他們所使用的 Trimble AG 132 GPS 接收器，具有低於一公尺之靜態準確度及少於一秒之動態誤差。

二、方法簡述

(一)噴藥機改良與施噴系統研發

爲進行水稻之藥劑施噴，改良國產氣輔桿式噴藥機(永三源農機廠產製)並增改其地面距至 1.2 公尺，噴藥機噴桿長 6.73 公尺，但爲與所規劃之田區網格寬 25 公尺相符，僅噴桿的中央 6.25 公尺被使用，噴嘴間距設定爲 0.52 公尺，亦即噴藥機一次作業共有 12 個噴嘴，噴桿系統分爲左、中、右三段，噴藥機以野馬牌 TF160 型柴油引擎(16Hp)作爲動力，具有一只 500 公升藥液筒。

變率施噴控制系統之設計，如圖 1 所示，使用 Mid-Tech 公司製 TASC 6200 主控器當施噴(率)控制器，並有旁通流量調整閥(＃879-0002，3/4 吋，自調範圍)及 WL-51 柱塞式幫浦(29.5~58 公升/分，物理農業機械股份有限公司)，以執行通常的流量控制自動化噴霧功能。爲保持想要之施噴率，控制器使用精巧雷達感應器(＃120-0000-kit)與 1 吋流量計(＃120-0102)分別監控噴藥機之行進速度及農藥流率。安裝於 Acer Travel Mate 525 手提電腦的 Fieldware Suite 程式讀取來自 RX-400p DGPS(差分全球定位系統)接收器之 GPS 信號，定出施噴地圖上噴藥機之位置，並送出該位置想要之施噴率至 TASC 6200 主控器，農藥施噴控制器隨即變更施用率以迎合程式所指定之需求量。以上所提及未經指名之零組件全部來自 Mid-Tech 公司。

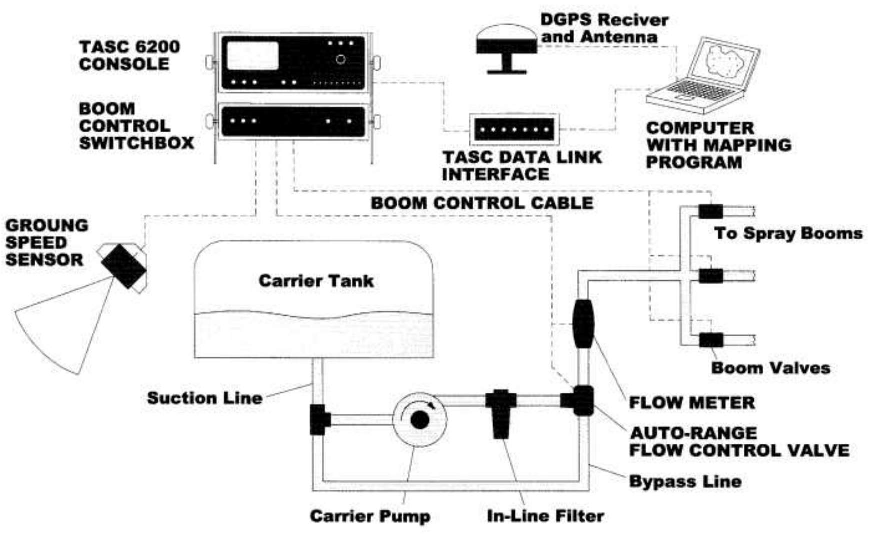


圖 1. 變率施噴控制系統組件。

(二)DGPS 接收器的靜、動態信號反應

GPS 提供關於田間位置最有用的資訊，以供併入圖化與施噴程式，但其精準和準確度必須被加以分析。為確定 GPS 接收器之有效性，本研究執行靜態和動態準確度試驗。靜態 GPS 試驗係藉由安裝 RX-400p 天線在農試所已知基準點(24°1'56.7033"N，120°41'20.0459"E)上，並連接接收器至 Acer Travel Mate 525 手提電腦而進行。GPS 接收器設定成輸出 NMEA0183GGA 字串，接收器上海岸電台信標 DGPS 組態被用於及時差分修正，手提電腦中 SA Watch 程式(SR Hunting 公司，Allenspark, CO 80510-0505, USA)被設定為約每隔 15 秒鐘直接擷取並記錄 GPS 數據達 1 小時。為降低因衛星結構及大氣條件所引起之信號偏差，此試驗於不同的兩天內執行五次。為了比較，不具有任何及時差分修正之補充試驗亦於單天內實施三次。SA Watch 程式所提供之圓形誤差可能(Circular Error Probable, CEP)及 2 維距離均方根值(2-Distance Root Mean Square, 2DRMS)被用於決定由已知基準點 GPS 信號之位置誤差量。CEP 及 2DRMS 值係以已知基準點為中心不同圓之半徑值，其分別涵括所測試 DGPS 系統所收到個別位置數據點的 50%與 95%。

RX-400p DGPS 接收器的動態精確度試驗亦於農委會農試所進行，RX-400p 接收器被架設在如圖 2 所示之電控台車上，以追蹤當台車上之接收器經過已知基準點(24°1'44.2387"N，120°41'37.7029"E)時之動態位置，從接收器所收到之數據被以 Acer Travel Mate 525 手提電腦中 CSIGPS 擷取程式加以記錄，並轉換為格式化文字以求得基於橢球 WGS-84 之經、緯度與高度值。為決定以不同速度行走接收器之動態位置誤差，一組觸發板及極限開關(TL-Q5MC,Omron 公司)被分別安裝於台車與軌道上，以點亮 LCD(液晶顯示器)並標誌當 GPS 天線經過基準位置點那瞬間，由於 LCD 置於 GPS 接收器上方所以時間顯示與 LCD 可藉由新力牌錄影機(Sony Video Hi8 Handycam)錄影下來，試驗後將錄影機影像轉換為 mpeg-2 動態影像壓縮標準格式(解析度 640×480)，並重新查看當 LCD 亮起之正確時間，由所測得時間相關大地測量學的經緯度值隨後被以一小程式 LL2XY(Meridmete 股份有限公司)，基於橫截麥卡托式(TM)投影圖法轉換為 TWD97 的當地座標。就每一回測試而言，動態位置誤差係由接收器所產生之位置值減去基準點座標值而加以計算，GPS 接收器位置資訊偏移時間亦由相關行走速度除位置誤差而求得。就此動態準確度試驗而言，GPS 接收器被設定成輸出如下之 NMEA0183 標準字串：GGA 在 5Hz(赫)、GST 在 1Hz 以及 VTG 在 5Hz。具有速度控制器之台車被安排以約 0.2、0.4、0.6、0.8 和 1.0 公尺/秒等五種速度從東行進到西，每一種台車試驗速度進行 16 次。

(三)變率施噴系統之評估

為了解施噴率、行進速度和噴藥機上所用流量計的流率校正係數對施藥機總噴霧流量之影響，刻意進行導引自來水通過系統並進入接水桶之接水試驗(30 至 60 秒)，使用三種施噴率(400.3、799.7 和 1200 公升/公頃)、二種行進速度(1.8 和 3.5 公里/小時)，以及十種校正係數(140、143、146、149、152、153.1、155、158、161 和 164 脈衝/加侖)，每一實驗條件重複執行三次，每一回合水量增加量藉由電子秤(TC-30K 型，精度 5 克，Winner 公司產製)監測並用以計算噴藥機之總流率，隨後以此噴藥機流率試驗結果使用統計繪圖軟體 Statistical Graphic Systems (STSC 公司)進行 95%信賴位準之多重因子變方分析。

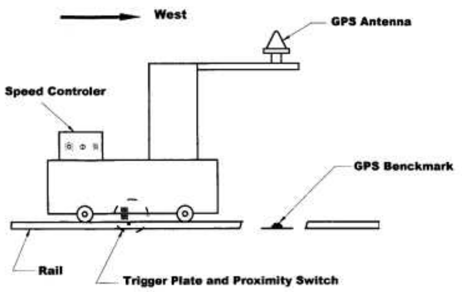


圖 2. 動態 GPS 準確度測試組態。

數個研究者(PAMI, 1987; Thierstein *et al.*, 1991; Ayers and Anglund, 2000)使用變異係數(Coefficient of Variation, CV)分析噴嘴噴霧樣式並決定噴嘴在特定情況下之效力。Thierstein *et al.* (1991)指出噴霧樣式的 CV 值小於 10-12 % 通常被認爲非常好，Prairie 農業機械學會(1987)報導噴霧樣式 CV 值小於 10 % 是非常一致的，當 CV 值介於 10 和 15 % 之間是可接受的，而當 CV 值大於 15 % 則不能接受的。由於一致的噴霧樣式來自於一致的流量通過噴嘴，而且無法獲得測試噴霧樣式的必需設施，在此研究中流經噴桿分段噴嘴流量的 CV 值被分析以取代噴霧樣式 CV 值。此試驗的目的在調查控制系統在穩定狀況下個別噴嘴傳導所需流量率的能力，而自來水被使用當作測試監測流體以限制環境汙染。測試前，施藥機流量被啓動，而且施用率與系統測試速度則依照表 1 所示測試噴嘴而被設定。爲了收集每個噴嘴的出水，12 個 2 公升容量的容器被放置於噴嘴下方 30-60 秒，以電子天平(型式 PE3000，精確度 0.01 克，Mettler 儀器公司)量測之重量增加則用以計算噴嘴流量率，每一種噴嘴型式做 3 重覆試驗。

表 1. 噴嘴流量評估之測試狀況。

Nozzle Type	Application Rate (l/ha)	Test Speed (km/h)
TeeJet XR11002	750	1
TeeJet XR11003	600	1.9
TeeJet XR11004	500	3.1
TeeJet XR11006	750	3.1

三、結果與討論

DGPS 接收器靜態準確度試驗

圖 3 顯示 SA Watch 程式的範例螢幕畫面。注意所有被蒐集樣本的平均值離基準點只有 0.7 米，而且 99 % 的樣本在基準點 1.7 米的範圍內。此靜態準確度測試結果總結於表 2，其顯示 RX-400p 接收器具來自電台的即時差分修正時其平均誤差近乎 1.6 米，而且平均 2DRMS 值大約 2.3 m，此兩數值是 Ayers and Anglund (2000)以 Trimble AG132 GPS 所得到一米以下精確度數值的兩倍，此不一致的原因未知。根據 Auernhammer(Wagner 報導，1999)RX-400p 接收器於此處境下使用準確度足以作爲導航，但尚不足以作田間工作。表 2 亦顯示 RX-400 接收器在沒有任何即時差分修正時，其平均誤差近乎 7.8 米，而且平均 2DRMS 值大約 8.4 m，顯然 RX-400p DGPS 沒有任何即時差分修正時表現更糟，比有海岸電台即時差分修正時，CEP 及 2DRMS 值各自被放大到大約 4.9 及 3.7 倍。

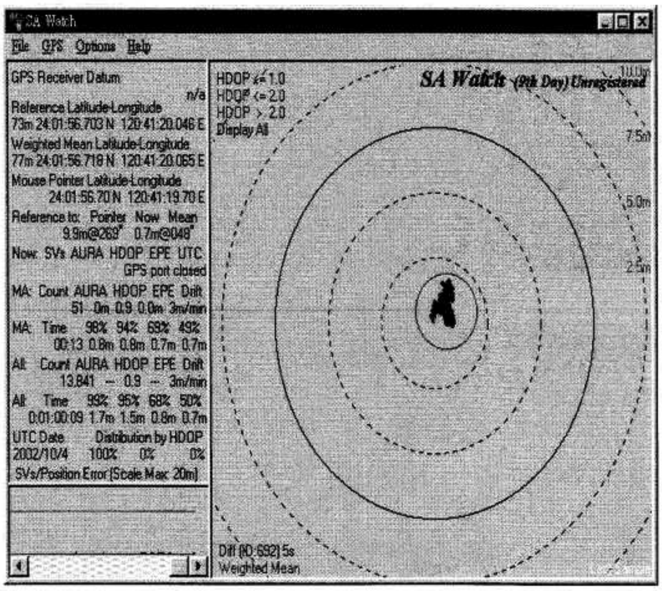


圖 3. SA Watch 程式之範例畫面。

表 2. 靜態 GPS 準確度測試之結果。

Run #	CEP (m)	2DRMS (m)	Avg. Longitude (deg)	Error (m)	Avg. Latitude (deg)	Error (m)
Real-time differential correction from the beacon						
1	1.6	1.9	120.688907	0.542	24.032411	-0.731
2	2.7	3.2	120.688924	2.271	24.032411	-0.735
3	1.6	2.8	120.688913	1.153	24.032413	-0.511
4	0.7	1.5	120.688907	0.545	24.032422	0.487
5	1.3	2.1	120.688907	0.544	24.032420	0.265
Average	1.6	2.3	120.688912		24.032415	
No real-time differential correction						
1	6.9	7.2	120.688907	0.558	24.032478	6.700
2	8.5	8.9	120.688937	3.646	24.032482	7.149
3	7.9	9.0	120.688962	6.134	24.038464	5.148
Average	7.8	8.4	120.688935		24.032475	

DGPS 接收器動態準確度試驗

圖 4 顯示接收器於不同的行進速度時動態位置誤差及相關偏移時間， E_{lon} 和 E_{lat} 各自代表接收器經度和緯度動態誤差。OT_{lon} 和 OT_{lat} 各自代表接收器經度和緯度之偏移時間；RMS 代表起因於位置計算結果殘差的均方根，如圖 4 所示 E_{lon} 和 OT_{lon} 以二階多項式曲線呈現，相關係數達 0.68 及 0.8494 具有可察覺趨勢。此趨勢顯示具有平均值 3.63 米之經度動態位置誤差，在行進速度大約爲 0.6 m/s 時具有最小値(2.09m)，而且在較高或較低的行進速度時變大。這與 Ayers and Anglund (2000)動態位置誤差隨速度增加而增加的報告不一致，他們指出誤差偏移在 2.22 和 4.44 m/s 測試時小於 2 米，而且在 6.67 m/s 測試時誤差偏移小於 3 米。經度時間偏移平均爲 8.35 秒，並且展現相似的趨勢，但是在行進速度大約爲 0.8m/s 時具有最小値(4.42 秒)。由於試驗車定位由東到西，E_{lat} 和 OT_{lat} 並無有意義的趨勢被觀察到。由於只是相對測量而非完全正確估計，具有平均 0.53 米與標準差 0.73 米之位置殘差均方根，顯示其與量測之動態位置誤差並無關連。

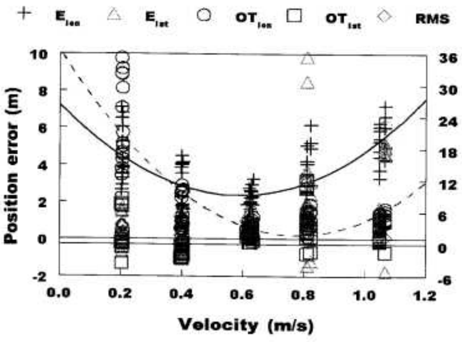


圖 4. 受測 DGPS 接收器之動態位置誤差與偏移時間。

把試驗車定向爲從東北至西南並且儘量減短連接線長度以減少不要訊號雜訊之進一步試驗被進行以作再確認。同樣地，在不同的測試速度由大約 0.2 至 1 m/s，測試車通過基準點 6 次。圖 5 顯示受測 DGPS 接收器在 5 種行進速度下具對應標準偏差之平均動態位置誤差及偏移時間，由於動態位置誤差和偏移時間分別被呈現於左邊及右邊座標軸，閱讀此圖仔細留意是必需的。由圖 5 以及經緯度動態位置誤差之單因子變方分析(95 % 信賴位準)，可知並無顯著差異被觀察到，這意味著受測 DGPS 接收器以行進速度由 0.2 至 1 m/s 移動，在經緯度方向表現差不多相同而具有

2.23m 之平均動態位置誤差。同樣地，除了在行進速度爲 0.2m/s 時具平均值爲 10.15 秒偏移時間顯著突出其他者外，動態偏移時間可以被推斷具有相同趨勢，此受測 DGPS 接收器以行進速度由 0.4 至 1 m/s 移動時其平均偏移時間爲 3.48 秒。

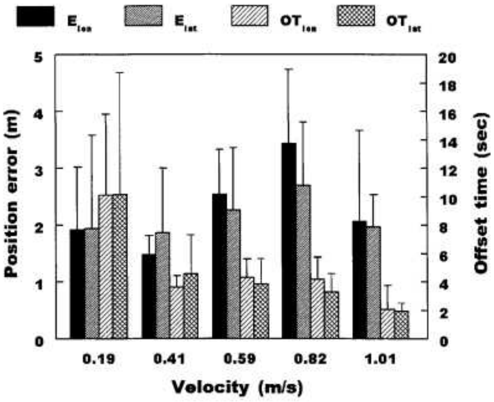


圖 5. 再確認試驗受測 DGPS 接收器之平均動態位置誤差與偏移時間。

在動態精確度測試時，RX-400 DGPS 接收器接收之瞬間速度值也被取樣，並與測試車(其上安裝接收器天線)之眞實量測速度比較，圖 6 顯示量測速度與 RX-400p DGPS 接收器瞬間速度間具高相關係數達 0.9831 之關連線。顯然地，DGPS 接收器瞬間速度與量測速度吻合良好，其暗示 DGPS 接收器之速度數據可用以提供施藥機的速度資訊。

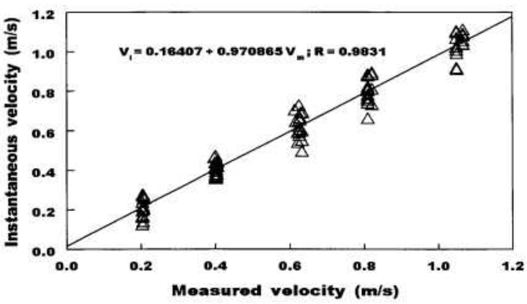


圖 6. 量測速度與 RX-400p DGPS 接收器瞬間速度之關係。

施藥機流量評估

變率施噴系統噴藥流量誤差之多因子變異分析結果敘述如下，三個主要因子施噴率、行進速度及所用流量計的校正係數皆是統計顯著，基於鄧肯多變域分析，三種不同的施噴率被分成如圖 7 所示的三個族群，施噴率愈高有愈高的噴藥流量誤差，在此三施噴率中，只有施噴率 400.3 公升/公頃之噴藥流量誤差 95%信賴區間位於 0 以上，此意味著系統在較高的施噴率下(799.7 及 1200 公升/公頃)可能無法傳送足夠的水。對行進速度而言，類似地如圖 8 所示，兩種測試速度之噴藥流量誤差 95%信賴區間皆位於 0 的下方，並可歸類成兩個族群，測試速度愈高噴藥流量誤差愈高。對此 10 個校正係數而言，可以統計分析區分成 8 個族群，噴藥流量誤差當校正係數增加時由負改變到正。値得注意地是如圖 9 所示，校正係數 153.1 及 155 之噴藥流量誤差 95%信賴區間(標記爲 E 族群)介於±2%。這表示校正係數於 153.1(廠商建議值)與 155 時有最小的噴藥流量誤差，可用來校正使用的流量計而沒有顯著差異。就緊接的噴嘴流量/噴桿樣式評估而言，校正係數係使用 155。

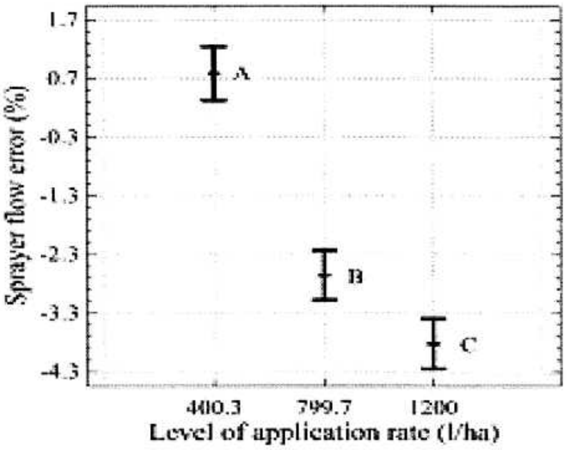


圖 7. 三位準施藥率下施藥機流量誤差之 95%信賴

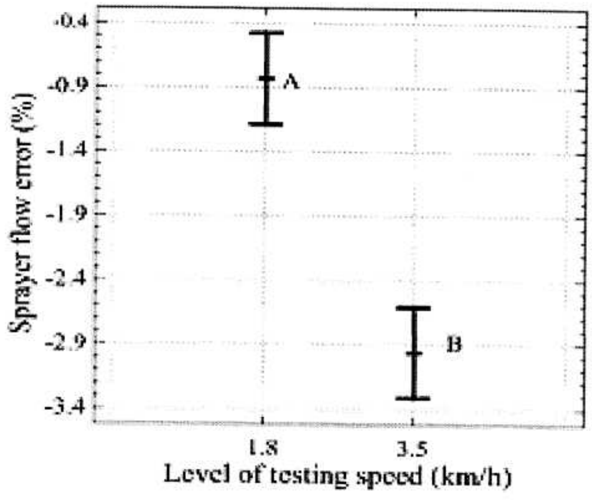


圖 8. 二位準行進速度下施藥機流量誤差之 95%信賴位準平均值圖。

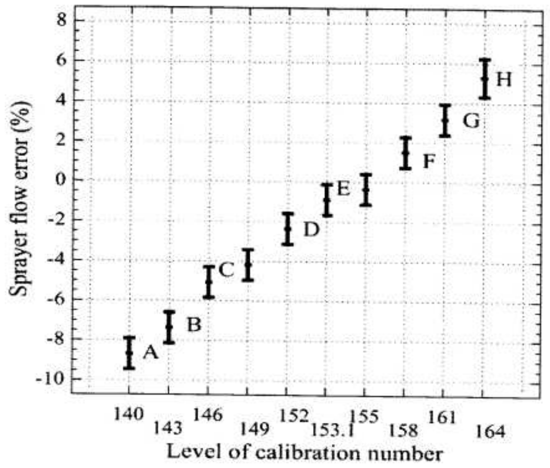


圖 9. 十位準校正係數下施藥機流量誤差之 95%信賴位準平均值圖。

噴嘴流量/噴桿樣式評估

圖 10 顯示變率施噴系統四種不同型式噴嘴之平均噴嘴流量/噴桿樣式，所有狀況下噴桿樣式具有 CVs 值小於 5%係非常均勻如前所述，其中 XR11003 噴嘴之噴桿樣式具有比其

位準平均值圖。

他較大之 CV 值 3.15%，此乃因兩使用過之噴嘴(#5 及#6)不經意地被安裝於測試噴桿上。

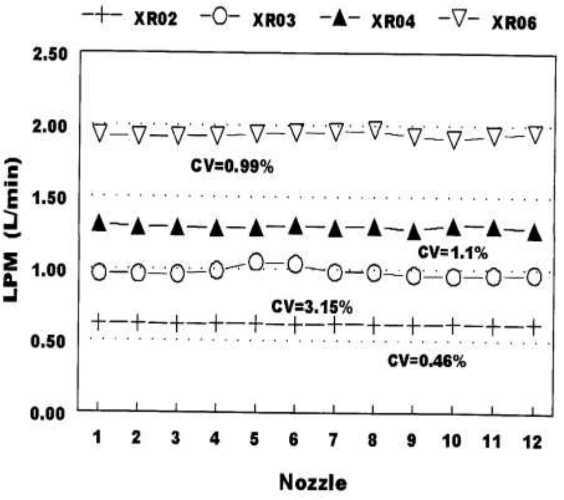


圖 10. 四種不同噴嘴型式之噴嘴流量/噴桿樣式。

四、結語

從靜態準確度測試中，RX-400p 接收器的平均誤差大約 1.6 公尺，平均 2DRMS 大約 2.3 公尺，結果顯示此接收器之準確度足以用於導航，但不足以用於田間工作。RX-400p 差分全球定位儀於沒有任何即時差分修正狀況下，比使用海岸電台做即時差分修正時差，圓形誤差可能 CEP 及 2 維距離均方根 2DRMS 值各自被放大到大約 4.9 及 3.7 倍。從動態準確度測試得到的趨勢與其他的研究者的結果並不完全符合，但是從 DGPS 接收器得到的速率資料應可用於提供噴藥機的速度資訊。再確認實驗中顯示受測的 DGPS 接收器以 0.2 到 1 公尺/秒之行進速度移動時，在經緯度方向表現差不多相同而具有 2.23m 之平均動態位置誤差，而以行進速度由 0.4 至 1 m/s 移動時其平均偏移時間爲 3.48 秒。

較高的施噴率及行進速度有較高的噴藥

流量誤差， 兩個校正係數 153.1 及 155 具有最小的噴藥流量誤差，可用來校正使用的流量計而沒有顯著差異。四種不同噴嘴型式之平均噴嘴流量/噴桿樣式非常均勻一致，CVs 值皆小於 5%。本報告只是初期評估，更多評估必須被進一步進行以加強此變率施噴系統，重點包括使用速度感測器之準確度測試、當某段噴桿噴嘴關閉時剩餘噴嘴流率的變化及田間施噴準確度試驗等。

五、誌謝

本計畫係以『水稻精準農業(耕)體系之研究－92 農科-1.1.6-農-C1』計畫之預算執行，謹此誌謝。

六、引用文獻

Auerhammer, H. and T. Muhr. 1991. GPS in a basic rule for environment protection in agriculture. In: Proc. of the Automated Agricultural for 21st Century Symposium. p.394-402. Chicago, IL: ASAE.

Ayers, P. D. and E. A. Anglund. 2000. Field evaluation of a variable rate liquid chemical applicator. ASAE Paper No. 00-1157. St. Joseph, MI: ASAE.

Bennett, K. A. and R. B. Brown. 1997. Direct nozzle injection and precise metering for variable rate herbicide application. ASAE Paper No. 97-1046. St. Joseph, MI: ASAE.

Bennett, K. A. and R. B. Brown. 1999. Field evaluation of a site specific direct injection herbicide sprayer. ASAE Paper No. 99-1102. St. Joseph, MI: ASAE.

Felton, W. L., A. F. Doss, P. G. Nash and K. R. McCloy. 1991. A microprocessor controlled technology to selectively spot spray weeds. In: Proc. of the Automated Agricultural for 21st Century Symposium. p.427-432. Chicago, IL: ASAE.

Giles, D. K. 1997. Independent control of liquid flow rate and spray droplet size from hydraulic atomizers. Atomization and Sprays 7(2): 168-181.

Holtz, A. J., R. A. Willoughby, M. L. Stone, J. B. Solie and W. R. Raun. 2000. Dynamic response of valves for variable rate application of fertilizers and pesticides. ASAE Paper No. 00-1160. St. Joseph, MI: ASAE.

Lee, W. S., D. C. Slaughter and D. K. Giles. 1999. Robotic weed control system for tomatoes. Precision Agriculture 1(1): 95-113.

Miller, M. S. and D. B. Smith. 1992. A direct nozzle injection controlled rate spray boom. Transactions of the ASAE 35(3): 781-785.

Ollila, D. G., J. A. Schumacher and D. P. Froechlich. 1990. Integrating field grid sense system with direct injection technology. ASAE Paper No. 90-1628. St. Joseph, MI: ASAE.

Prairie Agricultural Machinery Institute. 1987. Flex-coil model 562 field sprayer. Evaluation Report 527. Saskatoon, Saskatchewan, Canada.

Thierstein, G. E., N. Zhang, L. Wang and D. K. Kuhlman. 1991. Pattern testing of spray nozzles used to apply fertilizers and pesticides. ASAE Paper No. 91-1539. St. Joseph, MI: ASAE.

Wager, P. 1999. Problems and potential economic impact of precision farming. In: Proc. of the 7th International Congress for Computer Technology in Agriculture. Firenze, Italy. Available at http://www.weihenstephan.de/ui/veroeff/pf/pf_cc98.htm.

Walker, J. T. and R. K. Bansal. 1999. Development and characterization of variable orifice nozzles for spraying agro-chemicals. ASAE Paper No. 99-1008. St. Joseph, MI: ASAE.

Wolf, R. E. 2000. The influence of changing application volumes on droplet size using blended pulse spraying technology. ASAE Paper No. 00-1122. St. Joseph, MI: ASAE.

Development and Evaluation of a Variable Rate Spraying System

Lien-Sheng Liang, Lung-Hu Lu, Wuu-Huann Shyu,
Guo-Shiang Hwang and Jyh-Rong Tsay*
Division of Agricultural Engineering, ARI, COA, Taichung, Taiwan, ROC.
E-mail：jrtsay@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

A variable rate chemical application system based on prescription maps from an accompanying expert decision system was developed to accommodate in-field spatial variability of paddy fields in Taiwan. A flow-based spraying system using a TASC 6200 console by Mid-Tech®, Inc. was used as the main frame to perform the general automated spraying functions. Preliminary evaluation of the variable rate spraying system was performed by testing Differential Global Positioning Systems (DGPS) receiver static and dynamic signal responses, sprayer flow, and nozzle flow/boom pattern. Main conclusions drawn from this study were stated as follows. With an average static error of approximately 1.6 meters and an average 2-Distance RMS of approximately 2.3 meters, the used RX-400p receiver is accurate enough for navigation, but not sufficient for field work. The trend obtained from dynamic accuracy tests does not coincide with that from other researchers. However, the velocity data from the DGPS receiver may be used for providing speed information of the sprayer. The re-verification experiments showed that the tested DGPS receiver moving with a traveling speed varied from 0.2 to 1 m/s behaved almost the same in both longitude and latitude with an average dynamic position error of 2.23 m. The averaged offset time for the tested DGPS receiver moving with a traveling speed varied from 0.4 to 1 m/s was found to be 3.48 seconds. The higher the application rate and traveling speed, the larger the sprayer flow error. Both calibration numbers, 153.1 and 155, with minimal sprayer flow error can be used for calibrating the used flow meter without significant difference. The nozzle flow/boom patterns of four nozzle types with CVs less than 5% were very uniform. The data collected provided valuable information for improving and implementing variable rate application suitable for Taiwan's situations.

Key words: Variable rate spraying, DGPS, Paddy field, Precision farming.

水稻精準農業體系
GPS 自動噴藥機之開發—變率施噴系統基礎研究
219-230, 2003

GPS 自動噴藥機之開發—變率施噴系統基礎研究

葉仲基 [1*]、廖盈達 [1]、梁連勝 [2]
[1] 國立臺灣大學生物產業機電工程學系
[2] 行政院農業委員會農業試驗所農工組
E-mail:ckyeh@ccms.ntu.edu.tw

摘要 ---------- 220

一、前言 ---------- 220

二、文獻探討 ---------- 220

三、實驗設備與研究方法 ---------- 223

四、結果與討論 ---------- 225

五、結語 ---------- 228

六、誌謝 ---------- 229

七、引用文獻 ---------- 229

ABSTRACT ---------- 230

GPS 自動噴藥機之開發—變率施噴系統基礎研究

葉仲基*1、廖盈達1、梁連勝2
1國立臺灣大學生物產業機電工程學系
2行政院農業委員會農業試驗所農工組
E-mail:ckyeh@ccms.ntu.edu.tw

摘要

本研究以一農用桿式噴藥車為研究對象，於該噴藥車上架設全球定位系統接收儀，以便即時獲取噴藥車在田區的空間座標，並於噴藥車的施噴系統加入比例式流量控制閥。比例閥閥口開度所對應的相對流量與接收儀即時定位精度則由實驗結果獲得，從而找出系統施噴工作曲線與接收儀即時定位誤差。首先個別設計變率施噴系統，然後再對系統進行實驗模擬與分析。在施噴系統方面，利用控制系統的回流量來改變施噴量，以動態方式測試此系統，在不同幫浦設定壓力下比例閥閥口開度與回流量關係，最後將實驗數據進行迴歸分析，以了解比例閥開度特性，並找出其工作曲線。實驗結果分析顯示：比例閥閥口對流量可控制開度在 11%～64%間，若將開度以三段 20%、40%、60%設定再配合五種設定壓力，則能產生施噴量從 7 LPM～34 LPM 的 15 段變率施噴效果，可以運用在多變的作業環境上。

關鍵詞：精準農業、桿式噴藥車、變率施噴、全球定位系統、地理資訊系統。

一、前言

本研究主要針對精準農業體系下之農耕作業機械－變率施噴機之變率施噴系統進行設計與測試，使其能具備變率施噴的特性，將來可依照事先判斷之病蟲害類別進行變率噴藥作業。為達成上述目的，本研究文將建立一套變率施噴控制系統，並選擇對某型桿式噴藥車進行車上施噴系統的改良，以結合變率控制系統，使噴藥車施噴系統具有變率控制的特性。未來配合全球定位系統(Global Positioning System, GPS)之接收儀所提供的即時座標與經過地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)分析之施噴指示圖，可對特定田區進行變量的施噴作業，以達成因地制宜的目的。

二、文獻探討

在過去，農民對整個田區的耕作方式皆為均一化，包括耕耘量、施肥/噴藥量等，不曾考慮到田區在地形及土壤種類、鹽度與害蟲猖獗區域的差異。對於利用不同肥料種類與可變率噴灑量相對應於田區特定地點，而使田區總體作物產量增加，此過程稱為精準農業

(Lachapelle *et al.*,1996)。精準農業亦爲一個重新組織的專業系統，使農業朝低投資高效益的方向邁進，且調整傳統農業經營的腳步，來適應日益高漲的環保意識。現今全球正流行有機栽培與無農藥的農耕方式，但如此將影響作物產量，因此無法被大多數農民接受，精準農業針對田區狀況的不同，採取變異性管理正可提供此一解決的良方，同時滿足環境保護與作物產量降低的衝突(Shibusawa，1998)。

在精準農業的作業系統中，對農民耕作有幫助的全球定位系統之空間定位資料將被有效的利用於：可變率施作機具的定位導航、土壤種類與作物定址及田區產量紀錄分析等，藉由精確的控制，進而得到最大經濟產量(Monson，1997)。精準農業爲用最少的投資得到最大的獲利，並得以保護環境，結合田區產量圖對於特殊不同的田地施以特殊的耕作方法，包括：害蟲的管制防除、灌溉、按土壤種類型式予以施肥耕作、作物輪作等，以達到提高利潤並且減少對於環境的污染，整合性技術如圖 1 所示(Johnson *et al.*,1997)。

圖 1. 精準農業整合性技術(from Johnson *et al.*,1997)。

爲了配合田區特定地點對施作量要求的不同，因此可變率施作機械是必須使用的。可變率控制須提供：(1)施作機在田區正確的位置；(2)田區正確地點的變異資訊；(3)田區正確地點的可變率施作。田區正確位置可由 GPS 定位獲得，田區變異圖或即時感測器可提供正確變異的資訊，可變率控制系統即是結合前兩項資訊應用在施作機械上，使成可變率施作機械。

決策支援系統可提供農民在耕作上爲作物產量與環保問題的解決之策，即爲田區管理策略上的衝突找出一條可行的方向，使系統最佳化。以下例舉兩則美國精準農業的應用例(Clark，1998)：

1.可變率施肥機

傳統的施肥是把已經調製好裝載在施肥桶內的肥量液對一大片的田地實施均一性噴灑，但沒有考慮到土壤成分(主要指氮肥、磷肥及鉀肥)的非均一性，當對田區施用均一性肥料，則可能產生某些區域的土壤中，某種特定的肥料含量過高，相對地就有某些區域過低，然後多餘的無機肥則會對環境產生污染，其解決的方法就是應用精準農業，建立土壤需肥圖然後根據需肥圖施肥。

其方法如下：首先，將田區網格化分成若干大小的區塊，例如：100 英畝(40.469 公頃)的田區，每 2.5 英畝(1.012 公頃)分成一個網格則有 40 個區塊，然後在每個區塊中隨機選取 4～6 個土壤樣本，測試土壤成分，以區塊幾何中心爲代表，依序利用 GPS 定位記錄之，如此便完成田區土壤肥力圖。由於 GPS 定位只是提供空間座標資料，還需藉由 GIS 的空間分析功能，將田區各定點的調查資料整合起來，再近一步作成田區的耕作指示圖，以利可變率施作機的運作。

2.田區產量圖的製作

作物的產量對農民而言是重要且實際的問題，如能將田區特定網格的產量作圖紀錄下來，使農民有所依循，可對症下藥進而得到最佳產量。

其方法如下：於田區作物進行收穫時，在收穫機上裝置 GPS 接收機和兩個感測器，感

測器分別量測收穫之穀物流入率與穀物溼度，當收穫機進行收穫時其上的電腦便即時記錄包括：GPS定位資料及穀物的流量與溼度。如此一來，待收穫完畢就有一份田區的作物產量圖，並同時有穀物溼度分布圖，有了這些資料便可提供明年耕作時的參考。例如：某區段穀物溼度太高則減少灌溉次數，某區段產量太低則不敷成本則休耕或改種其它作物，以求達最高經濟產量爲目標，並用最少的投資得到最大的回收，並得以保護環境，適時、適地與適量的耕作方式減少傳統均一式耕作所造成的浪費，以達到提高利潤減少對於環境的衝擊破壞。

1996年Deer&Co.公司，對使用GreenStar系統(爲整合DGPS、產量監測器與地圖軟體的系統)的650位試用者作問卷調查，結果問卷回收率爲66%，其中有40%的農民使用這套系統所提供的建議來耕作，超過三分之二的農民使用這套輔助系統後能提高作物品質。除了硬體設備的使用外，還需重視有效農藝資料的收集，精準農業預測還需30～35年方可全面推展，可分爲三個階段，如圖2所示(Johnson *et al.*,1997)：第一階段：農藝農耕資料的收集；第二階段：使用第一階段所收集的資料來進行作物的輔助管理；第三階段：結合資料與技術對整體作一經濟性的管理，最終目的就是讓農民有一個整體田地的獲利圖。

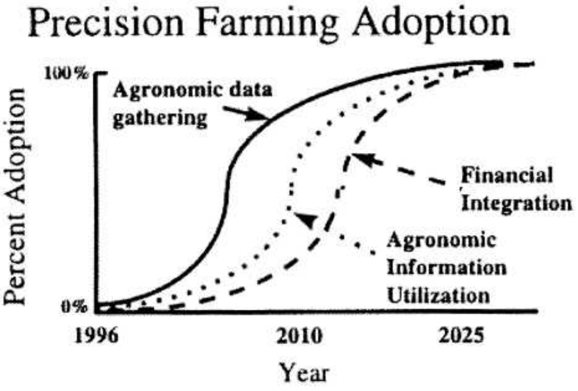


圖2. 精準農業預測接受圖(from Johnson *et al.*,1997)。

精準農業是將田地區分成若干的區塊，例如：在3英畝(1.214公頃)的土地上使用1300個點來代表，每點可表示100平方呎(9.339平方公尺)的平均取樣值，區塊愈小點數愈多則愈精細，但整體系統需有經濟的考量，點數愈多則解析度要愈高。在相同的時間下則需要愈快的處理器、愈多的記憶體、、等，且機械變得更複雜、變重，需要大馬力來驅動車體，成本自然增加，相對的區塊愈大點數愈少則失去精耕的目的，在精確與經濟中間需要有所取捨，標準的DGPS系統精度已足夠用於作物收穫、施肥定位之用(Thompson, 1998)。

其它農耕上的可能應用，例如：

(1) 耕犁－由於深層的耕犁會破壞土壤的硬盤，因此曳引機作業時配備GPS接收機按照耕作指示圖上的土壤深度即可從事不同深度的耕犁，避免破壞土壤硬盤，影響保水性。
(2) 播種－經由作物產量圖會發現某些區域產量過低，故在下一次播種時可作爲依據，用來改變播種密度或施種其它作物。
(3) 噴藥－讓噴藥機按照耕作指示圖上所指示的不同害蟲猖獗區域或雜草區，施予不同程度的農藥，以求得到最大效果。
(4) 灌溉－由於水源的減少與水污染日益嚴重，故應更有效的利用水資源，將水分配到需要灌溉的地方，例如：地勢較高的山丘其需水量一定高於低地，根據地形圖將田地各區塊的需水量達到平衡。此外，還有兩種快速正確獲得地理資料的方法：空照和衛星影像，衛星圖像可以顯示土壤的乾濕，指示何地需要灌溉；空照可清楚的顯示田區何處受病害猖獗的情況，如此皆可協助農民管理田地(Jensen and Hall, 1999)

此外，農民也必須了解田區耕作指示圖與農事作業間的關係，例如：在某地已施行精準

農業三年，今年產量圖顯示有一區域有超低的產量，然在改變管理計劃前，應先去查看最近兩年的紀錄。如三年來產量皆低，則需比較施肥與土壤成分，也許有特殊的土壤成分過高，在未來的幾年就必須設法降低。然而若是今年產量低而去年前年產量高，則比較地形圖，看是否今年是多雨年，溼度高導致產量降低，未來則從灌溉著手。當農民接受精準農業後，那麼農地將成爲一處大實驗場，使得它變得精細而特別，爲農業的發展朝向永續經營邁進(Blackmore, 1994)。

三、實驗設備與研究方法

(一)實驗設備

本研究的主要設備如下，其中又可分別組成實驗施噴系統與桿式噴藥車施噴系統：

1. 實驗施噴系統動力源：東元電機公司(TECO)製造的三相感應電動機具有 5 馬力輸出。
2. 實驗施噴系統壓力幫浦：大農鑽石牌，型式爲 TS-80，利用三相感應電動機驅動，爲三缸柱塞式高壓幫浦，吸水量可達 75LPM(1000rpm)噴霧壓力 21～35kg/cm^2。
3. 實驗施噴系統輸配水管路：包括一 2 輸入口、4 噴霧出水口與 1 個迴水口之特製配水管件總成、噴霧軟管(SPRAY HOSE，玉兔牌)，內徑 ψ 7.5mm、高壓噴霧軟管(MATCHMATE plus)，內徑 ψ 3/8"。
4. 噴桿與噴嘴：噴桿長度左右段 300 cm，中段 150 cm、噴嘴爲螺旋水流型 ψ 1.2 mm，呈中空圓錐型噴灑。噴桿左右段各配置 10 個噴嘴，中段配置 5 個噴嘴，各噴嘴間距 30 cm。
5. 比例控制閥：山野電氣公司(SUN YEH)製造，型式爲 OM-1，控制信號輸入(2～10 VDC)，比例閥口尺寸 3/8" 全開-全閉〔90°〕總時間 12 秒。
6. 流量計：Malema 公司製造之電子數位式流量計，型式爲 M-10000-S4083-00，屬輪葉轉子(turbine)式流量計，操作流量範圍 5～50(LPM)，精度 ± 2%FULL SCALE(± 1LPM)，口徑 1/2"。
7. 流量積算及指示器：欣原精機公司製造，型式爲 CUB5，具 2 組計算器可切換，分別爲水量積算(L)及流量(LPM)的計算、可運用倍率 0.0001～99.9999，藉以計算流量計輪葉迴轉所輸出的脈衝信號來計算管路流量，並顯示出來。
8. TeeJet 流量計算組件：TeeJet 公司製造，包括刻度計算器(Calibration Calculator)與量桶(Calibration Container)，可作流量的校正計算。
9. 其它儀器：

   電源供應器：對比例閥控制部輸入控制電壓(2～10 VDC)。

   三用電表：用於檢視比例閥實際開度位置。

   實驗施噴系統如圖 3 所示。

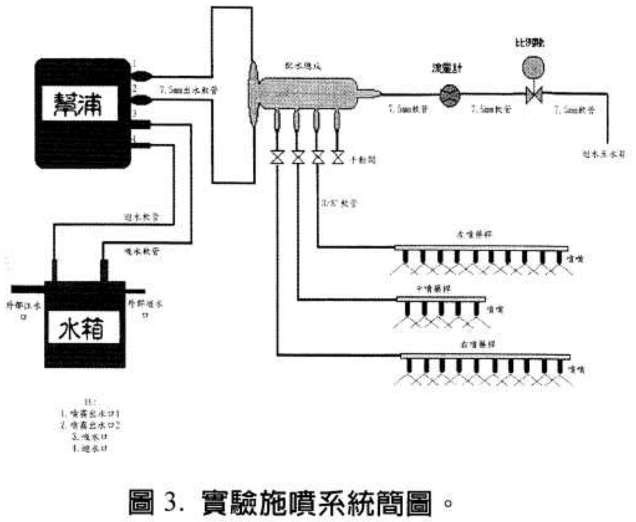


圖 3. 實驗施噴系統簡圖。

1. 桿式噴藥車：台南鉅業公司製造，型號爲 ZTSL500，使用動力爲 HONDA GX390 GCAA 型四衝程汽油引擎。
2. 噴藥機部份：大農鑽石牌 TS-80 與實驗施噴系統壓力幫浦相同，其動力來源爲噴藥車引擎以皮帶驅動。
3. 桿式噴藥車噴頭噴桿組：噴頭爲螺旋水流型 ψ 1.2m/m ×35、噴桿左 315 cm、右 315 cm、中 140 cm，總長 8.2m。

桿式噴藥車施噴系統如圖 4 所示。

(二)實驗方法

實驗分成兩階段進行：第一階段為實驗施噴系統，於幫浦不同設定壓力下改變比例閥開度進行流量測試。待第一階段之實驗施噴系統經反覆實驗分析改良得到流量數據後，再以統計學迴歸分析各種結果，找出系統特性。第二階段為將實驗施噴系統結合噴藥車既有的施噴系統，使噴藥車施噴系統具有變率施噴的效果。

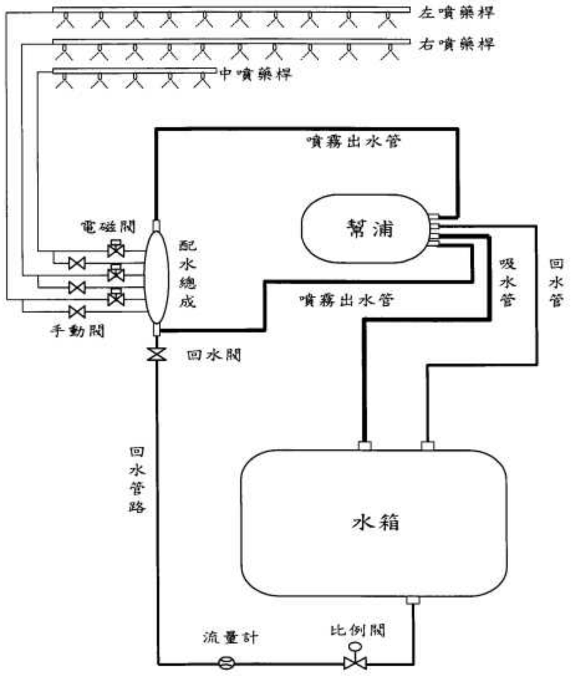


圖 4. 噴藥車變率施噴系統簡圖。

1.實驗施噴系統動態流量測試

(1)架設施噴系統。

(2)將電動比例閥、流量計安裝至施噴系統。

(3)啟動噴灑系統並且將配水總成之四個手動閥關閉。

(4)將比例閥馬達、流量積算及指示器 CUB5 接上電源。

(5)依序調整幫浦之出水壓力 8kg/cm^2、10kg/cm^2、13kg/cm^2、15kg/cm^2、18kg/cm^2、20kg/cm^2、23kg/cm^2、25kg/cm^2，並開啟幫浦的兩個噴霧出水閥。

(6)依序調整比例閥之輸入電壓 V(對應之開度%)：3V(11%)、3.5V(17%)、4V(24%)、4.5V(31%)、5V(37%)、5.5V(44%)、6V(51%)、6.5V(57%)、7V(64%)、7.5V(71%)、8V(77%)、8.5V(84%)、9V(91%)、9.7V(100%)。

(7)依序記錄比例閥開度之流量積算及指示器 CUB5 所顯示的瞬間幫浦流量。

(8)校正作業：於同時利用 TeeJet 量桶收集自流量計管路出口排出之水量，配合刻度計算器所記錄相對應的收集時間(second)，將水量(ounces)輸入刻度計算器即可得到計算結果，最後流量顯示 GPM(gallons per minute)。〔GPM = oz /(2.13×sec)〕

(9)依序輸入並記錄比例閥開度之刻度計算器所計算的瞬間幫浦流量。

〔one gallon＝3.79 liters〕

(10)分析數據。

實驗操作流程如圖 5 所示，在配水總成回流管路中裝設流量計，即時記錄流量 Q1，且於流量計出口管路後段裝設比例閥以控制施噴量，利用 TeeJet 量桶記錄水量配合刻度計算器求出管路流量 Q2，並以 Q2 值作為校正 Q1 的依據。

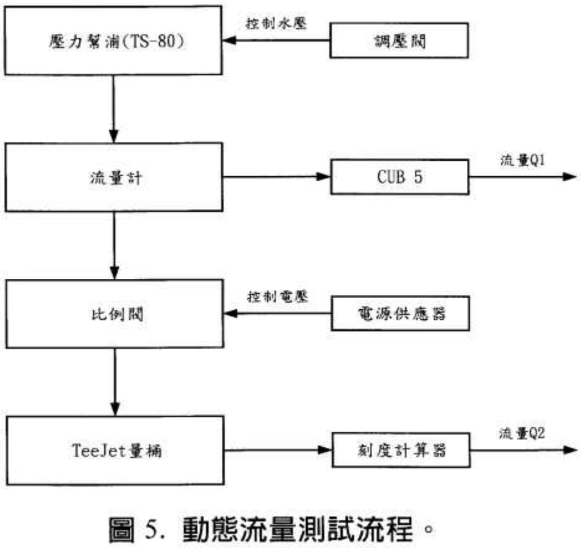


圖 5. 動態流量測試流程。

2.噴藥車變率施噴系統動態流量測試

(1)深入了解原型機之施噴系統各機構。

(2)將實驗施噴系統之流量計、比例閥裝設於噴藥車施噴系統配水總成回水軟管處。

(3)整合噴藥車施噴系統，使成爲一利用系統回流量控制施噴量的封閉迴路控制噴藥車變率施噴系統。

(4)以實驗施噴系統動態測試方法爲基礎，進行系統測試。依序調整幫浦之出水壓力爲 10kg/cm^2、13kg/cm^2、15kg/cm^2、18kg/cm^2、20kg/cm^2 並開啓配水總成之回水閥，使高壓水經由回水管路流回水箱。

(5)依序調整比例閥之輸入電壓 V(對應之開度%)：2.7V(7%)、3V(11%)、3.2V(13%)、3.4V(16%)、3.6V(19%)、3.8V(21%)、4V(24%)、4.2V(27%)、4.4V(29%)、4.6V(32%)、4.8V(35%)、5V(37%)、5.2V(40%)、5.4V(43%)、5.6V(45%)、5.8V(48%)、6V(51%)、6.2V(53%)、6.4V(56%)、6.6V(59%)、6.8V(61%)、7V(64%)、7.2V(67%)、7.4V(69%)、7.6V(72%)、7.8V(75%)、8V(77%)、8.5V(84%)、9V(91%)、10V(100%)。

(6)依序記錄比例閥開度之流量積算及指示器 CUB5 所顯示的瞬間幫浦回流量。於同時利用 TeeJet 量桶收集自流量可得到計算結果，以作爲校正，最後流量顯示 GPM(gallons per minute)。〔GPM = oz /(2.13×sec)〕

(7)依序輸入並記錄比例閥開度之刻度計算器所計算的瞬間幫浦流量。
〔one gallon＝3.79 liters〕

(8)分析數據。

待流量計以刻度計算器校正流量後，即以流量計流量爲計算施噴系統回流量之值。爲找出施噴系統回流控制之特性，將對系統作 10 次反覆動態流量測試，整體流程如圖 6 所示。

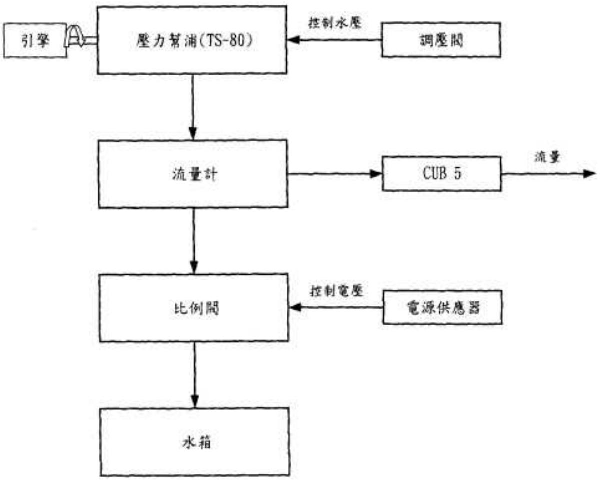


圖 6. 噴藥車施噴系統動態流量測試流程。

四、結果與討論

本章是將前文所提之實驗變率施噴系統及噴藥車變率施噴系統作動態實測，所得的結果再利用 Microsoft Excel 軟體進行迴歸分析，並進行討論。

(一)實驗施噴系統動態流量測試

對於實驗施噴系統所使用的高壓幫浦(TS-80)選擇與噴藥車相同，希望實驗結果較爲接近將來噴藥車施噴系統，針對高壓幫浦在不同的出水壓力下，藉由改變比例閥的開度，並量測管路的流量，以找出比例閥開度與幫浦流量間的特性關係。由實驗中可觀察出：

(1) 比例閥對管路流量之有效控制約在其閥口開度的 0～60%；閥開大於 60%之後流量漸趨平穩，失去控制水量的意義。故 0～60%區域的比例閥閥口開度可用以對田間施予變率噴灑。至於區分的等級則視田地所需量而定，例如分成三級：微量噴灑(0～20%)、中量噴灑(21%～40%)、大量噴灑(41%～100%)。

(2) 使用流量計與刻度計算器所得之流量有一段差距，且流量計之流量約爲刻度計算器之三倍，推測可能與流量積算之 CUB5 內部設定的倍率值有關。

(3) 觀察發現流量計在 15kg/cm² 以下所感測的流量值較爲穩定，但流量計在壓力較高(＞20kg/cm²)的情形下會有較不穩的流量出現，此應與流量計的適用壓力有關。

(4) 刻度計算器在計算流量中，會因收集水量時間與量桶刻度觀察的不準確而產生誤差，但可藉由實驗的次數來彌補，以維持數據的可靠性。

(5) 經由動態實驗施噴系統已具有變率的特性，因此證明了系統的可行性。

對於流量不穩定與突然性的變化，研判原因爲：管路中流量計置於比例閥之後，當比例閥閥口改變時會造成不連續的水流，大小不同的水流使流量計轉子室處在非塡滿的狀態，而靈敏的轉子在此環境下旋轉即容易產生感測的不穩定；對於流量的突然性變化研判爲管路中的氣泡流經流量計轉子造成轉子在高壓下轉動不穩定，進而影響到所感測的流量值。爲改善上述流量不穩定的缺點決定將管路中比例閥與流量計的位置互調，改善後的流程如圖 5 所示，並在比例閥出口處將管路提高 1 公尺，使流量計的轉子室經常保持充滿水的狀態，以提高轉子旋轉的穩定度同時也改善管路氣泡問題。

調整後可看出管路流量不穩定變化的情形已經獲得改善。此外，在調整流量積算器(CUB5)內部設定的倍率值之後，發現流量計所感測的流量值可趨近刻度計算器所計算之值。

今分別將流量計讀值除以計算器讀值與計算器讀值減去流量計讀值來檢視兩種調整後讀值間的關係，則如表 1 與表 2 所示，結果顯示實驗施噴系統幫浦流量測試已可直接讀取校正後之流量計讀值，而讀值所顯示的流量正是系統之回流量，因此將以改變比例閥閥口開度控制回流量，進而使施噴量得到控制。

表 1. 流量計讀值與計算器讀值之比值。

閥口開度 (%)	壓力(kg/cm²)					
	10	13	15	18	20	平均
24	1.03	1.00	0.99	1.00	0.98	1.00
37	1.02	1.00	0.96	1.01	0.98	1.00
64	1.03	1.02	1.02	1.04	1.06	1.04
100	1.04	1.02	0.99	1.05	1.02	1.03
平均	1.03	1.01	0.99	1.03	1.02	

表 2. 計算器讀值與流量計讀值之差值。

(單位：LPM)

閥口開度(%)	壓力(kg/cm²)				
	10	13	15	18	20
24	-0.4	0.0	0.1	-0.1	0.2
37	-0.5	-0.1	0.7	-0.2	0.3
64	-0.7	-0.5	-0.6	-1.0	-1.4
100	-1.0	-0.7	0.2	-1.1	-0.6

在完成流量計流量值校正後，對實驗施噴系統再做動態流量測試，由於回流量在比例閥閥口開度約 60%以後流量幾乎不再增加，而流量可控制的開度約在 17%～60%之間。

所以在此區域範圍內以統計學線性迴歸的方式求取流量與比例閥開度的關係，在幫浦設定壓力 10kg/cm² 下，其趨勢方程式爲：

$y=-0.0105x^2+1.3x-18.069$

$R^2=0.9938$ (x:閥口開度 y:流量)

在幫浦設定壓力 15kg/cm² 下，其趨勢方程式爲：

$y=-0.0098x^2+1.2916x-17.325$

$R^2=0.9979$ (x:閥口開度 y:流量)

在幫浦設定壓力 20kg/cm² 下，其趨勢方程式爲：

$y=-0.0123x^2+1.3987x-18.518$

R^2=0.996 (x:閥口開度 y:流量)

整體看來，在幫浦設定壓力範圍之內比例閥閥口開度與管路回流量是成高度正比關係的，故此系統已能滿足變率施噴的要求。

(二)噴藥車變率施噴系統動態流量測試

將以實驗變率施噴系統的建置與測試方法爲基礎，進行噴藥車變率施噴動態測試。由於噴藥車的施噴系統管路口徑特性與實驗施噴系統不同，因此需要先以 TeeJet 量桶配合刻度計算器進行初期流量計流量值校正。爲便於之後的流量測試，今分別將測試結果之計算器讀值除以流量計讀值與計算器讀值減去流量計讀值來檢視兩讀值間的關係，測試結果如表 3 與表 4 所示。結果顯示校正調整之後的流量讀值已經可與計算器讀值接近。

表 3. 計算器讀值與流量計讀值之比值。

閥口開度	壓力(kg/cm²)					
(%)	10	13	15	18	20	平均
11	#	0.81	0.79	0.79	0.80	0.80
24	1.03	1.01	0.75	0.76	0.89	0.85
37	1.06	1.07	0.98	0.96	0.94	0.99
51	1.09	1.08	1.04	1.00	0.97	1.02
64	1.09	1.08	1.03	1.02	0.97	1.03
77	1.11	1.09	1.04	1.05	0.98	1.04
100	1.13	1.10	1.04	1.04	1.03	1.05
平均	1.09	1.04	0.95	0.94	0.94	

表 4. 計算器讀值與流量計讀值之差值。

(單位：LPM)

閥口開度	壓力(kg/cm²)					
(%)	10	13	15	18	20	平均
11	0.00	-1.04	-1.26	-1.33	-1.27	-0.98
24	0.42	0.19	-2.80	-2.61	-1.14	-1.19
37	1.11	1.56	-0.50	-0.87	-1.56	-0.05
51	2.17	2.20	1.18	-0.04	-0.83	0.93
64	2.23	2.19	1.03	0.53	-0.97	1.00
77	2.64	2.56	1.37	1.49	-0.54	1.50
100	3.18	2.79	1.46	1.18	1.01	1.93
平均	1.68	1.49	0.07	-0.24	-0.76	

在校正流量計讀值後，對噴藥車施噴系統進行 10 次反覆的回流量動態測試，圖 7 所示係其中噴藥車幫浦壓力設定在 10 kg/cm² 之情形，而壓力設定在 13 kg/cm²、15 kg/cm²、18 kg/cm²、20 kg/cm² 則也有類似的趨勢。

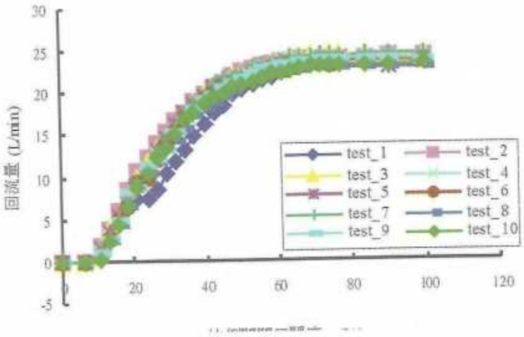


圖 7. 回流量與比例閥開度關係。(10kg/cm²)

由噴藥車動態測試結果可觀察到：

1. 系統回流量在比例閥閥口開度約 60%以後即呈現穩定幾乎不再變化，故比例閥閥口可變率控制開度約在 10%～60%間，此情形與實驗施噴系統相當一致，至此更加了解到比例閥之閥口開度與其流量之特性。
2. 表 5 是比較在幫浦不同壓力設定下，比例閥三段開度(20%、40%、60%)與可提供流量的關係，應注意的是在變率之外，也應該考慮到在不同壓力設定下所能提供田區的總量，這對將來的應用也具有決定性影響。

表 5. 比例閥三段開度與流量關係。

(單位：LPM)

閥口開度	壓力(kg/cm²)				
(%)	10	13	15	18	20
20	7	10	12	13	14
40	18	23	25	27	28
60	23	27	30	32	34

3. 觀察到壓力設定在 15 kg/cm² 以下流量變化呈現較穩定平滑的變化，至 20 kg/cm² 則流

量呈現較不穩的情形出現，研判應與流量計在高壓下的穩定性有關，也就是與流量計的適用壓力有關。

4.因為壓力幫浦是由引擎帶動，對於各級壓力設定下會出現少數幾次流量測試曲線的突然性變化，應是引擎在怠轉時的轉速不同變化所造成。

以下將對各種壓力設定下，比例閥閥口開度在 11%～64%作回流量趨勢的線性迴歸分析，以求取回流量與比例閥閥口開度的關係，圖 8 係壓力設定在 15kg/cm^{2}時之回流量與比例閥開度迴歸分析圖，至於其他壓力設定時之關係圖，亦有類似之趨勢。

當壓力設定在 10 kg/cm^{2}時，其流量趨勢方程式為：

$y=-0.008x^2+1.0158x-8.9898$

$R^2=0.9973$(x:閥口開度 y: 流量)

壓力設定在 13 kg/cm^{2}時，其流量趨勢方程式為：

$y=-0.0101x^2+1.2461x-11.289$

$R^2=0.998$ (x:閥口開度 y: 流量)

壓力設定在 15 kg/cm^{2}時，其流量趨勢方程式為：

$y=-0.0102x^2+1.2958x-11.112$

$R^2=0.998$ (x:閥口開度 y: 流量)

壓力設定在 18 kg/cm^{2}時，其流量趨勢方程式為：

$y=-0.0118x^2+1.4801x-14.56$

$R^2=0.9974$(x:閥口開度 y: 流量)

壓力設定在 20 kg/cm^{2}時，其流量趨勢方程式為：

$y=-0.0137x^2+1.6534x-16.441$

$R^2=0.9987$(x:閥口開度 y: 流量)

由以上趨勢方程式結果來看：在這五種壓力設定下，管路回流量是和比例閥閥口開度是呈二次多項式正比的，當閥口開度越大，回流量則越大。此外，從趨勢方程式也可看出：當幫浦壓力設定愈高，其回流量也愈高。但要記得這僅限於在比例閥開度 11%～64%範圍之間。

(三)討論

對於變率施噴系統，歷經實驗變率施噴系統的測試改良，再結合噴藥車既有的施噴系統，利用控制回流量進行變流率動態測試，最後找出比例閥閥口開度與流量的特性關係。而閥口開度對流量可控制範圍在 11%～64%(電壓 3V～7V)間。若將流量以三段區分控制(閥口開度：20%、40%與 60%)再配合幫浦壓力設定的五段壓力(10kg/cm^2、13 kg/cm^2、15 kg/cm^2、18 kg/cm^{2}與 20 kg/cm^2)即可產生 15 段的變率施噴效果，可控制之施噴量從 7 LPM～34 LPM，多段的變率控制將有利於應用在多變的作業環境上，使對病害蟲的噴藥作業得到更精準的要求。

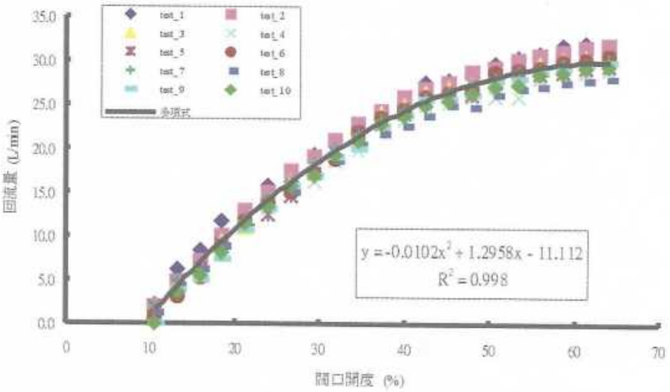


圖 8. 回流量與比例閥開度迴歸分析。(壓力設定 15kg/cm^2)

五、結語

本研究之主要貢獻是進行精準農業體系下的噴藥車變率施噴系統的初步設計，包括了

結合 GPS 定位系統與 GIS 等不同的理論基礎與軟硬體介面，再配合桿式噴藥車施噴系統的改良，使施噴系統具有變流率控制的效果。

噴藥車變率施噴系統部份，本文提出 15 段變率施噴法，利用幫浦之設定壓力與比例閥閥口之可控流量開度(11%～64%)結合，使變率施噴量範圍從 7 LPM 至 34 LPM，大幅增加了變率施噴的應用效果。

另外，經由實驗施噴系統與噴藥車施噴系統的動態測試，獲得比例閥閥口開度(11%～64%)對流量的控制特性呈二次正比的關係。

未來在變率施噴的應用上，首先取得經過 GIS 分析之病蟲危害程度圖層的待施藥田區之地理座標，藉由噴藥車上安裝的 GPS 接收儀引導至病蟲危害的田區，當噴藥車進入受病蟲害程度不同的田區時，則由 GPS 即時定位座標比對 GIS 圖層預設的不同程度區塊座標以判斷噴藥車所處之田區，並給予適當的施噴策略(15 段變率施噴法)，以達到因地制宜且適地、適量的目的。

六、誌謝

本項研究承蒙行政院農業委員會(89 遙測-4.1-糧-41(5), 90 農科-4.1.1-農-C2(2))及農委會農業試驗所 (91 農科-5.1.3-農-C2(C2), 92 農科-1.1.6-農-C1(C2))經費支持，謹藉以表示由衷感謝。

七、引用文獻

鉅業汽車企業有限公司。1998。桃改型桿式噴藥車 ZTSL 500 型使用說明書。

鉅業汽車企業有限公司。1998。桃改型桿式噴藥車 ZTSL 500 型修護手冊。

楊純明。2000。精準農業之關鍵要素與科技。p.16-23。水稻精準農業(耕)體系之研究。楊純明、林俊義，主編。行政院農委會農業試驗所，臺中縣。

Berry, J.K.1998.Who's minding the farm?. GIS world. February 1998:46-51.

Blackmore, S.1994.Precision Farming: An Introduction. http://www.cranfield.ac.uk/SAFE/cpf/.

Clark, R.L.1998.Practices and Potential assessing an Agricultural Revolution in Progress.http://www.precisionfarming.com/feature/0497clark.html.

Jensen, T. and L. Hall.1999.Precision Spraying-working toward an ideal. GPS world. February 1999:38-42.

Johnson, R.R., J.S. Hickman and W.F. Smith.1997.Precision Farming in Mechanized Agriculture.63-69.Society of Automotive Engineering paper no.972760.

Lachapelle, G., M.E. Cannon, D.C. Penny and T.Goddard.1996.GIS/GPS Facilitates Precision Farming. GIS world. July 1996:54-56.

Monson, R.J.1997.Navigation in Site-specific Agriculture.71-81.Society of Automotive Engineer paper no.972761.

Shibusawa, S.1998.Precision Farming and terramechanics. In"5th ISTVS Asia-Pacific Regional Conference", Korea.

Thompson, K.1998.Amber Wave of Grain-the age of precision agriculture has arrived. GEOWorld. October 1998:46-48.

Trimble Navigation Limited.1998.TSC1 Asset Surveyor Operation Manual.

Trimble Navigation Limited.1998. Asset Surveyor Software User Guide.

Trimble Navigation Limited.1997.Pathfinder Office Getting Started Guide.

Development of a GPS-operated Sprayer – Basic Study of the Variable-rate Spraying System

Chung-Kee Yeh[*1], Ying-Tar Liao[1] and Lien-Sheng Liang[2]
[1]Department of Bio-Industrial Mechatronic Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwna, ROC.
[2]Divisiont of Agricultural Engineering, Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC
E-mail:ckyeh@ccms.ntu.edu.tw

ABSTRACT

In the field, the real time position of the boom sprayer is obtained from a GPS receiver according to its space coordinate data. For the spraying system in the boom sprayer the feasibility is investigated by adding a proportional flow control valve. The opening of this control valve corresponding to the flow rate and real time error of the GPS receiver are obtained by experiment. First, a variable-rate spraying system and a positioning system was designed and tested separately. In the spraying system, system backflow rate is used to control the spraying rate. Then this system was tested dynamically in order to understand the influence of various setting values of the proportional control valve vs. backflow rate under the different pressure setting values of the pump. Finally, the data was analyzed by means of the regression method to predict the characteristics of the system performance. The experimental results show that for the backflow rate the controllable range of a proportional valve is within 11%～64%. The range is then divided into 3 stages：20%、40%and 60%, with 5 various pump spraying pressures. There were 15 different variable-rate spraying outputs. For the purpose of variable environment, the spraying capacity is from 7 LPM to 34 LPM.

Key words: Precision agriculture, Boom sprayer, Variable-rate spraying, GPS, GIS.

水稻精準農業體系
水稻變率深層施肥機之研究
231-238, 2003

水稻變率深層施肥機之研究

謝禮丞*[1]、欒家敏[2]、謝廣文[1]、黃禮棟[3]
[1]國立中興大學生物產業機電工程學系
[2]建國技術學院機電光系統研究所
[3]行政院農業委員會農業試驗所農工組
E-mail: lchsieh@nchu.edu.tw

摘要 ---------- 232
一、前言 ---------- 232
二、方法簡述 ---------- 233
三、結果與討論 ---------- 234
四、結語 ---------- 237
五、誌謝 ---------- 237
六、引用文獻 ---------- 238
ABSTRACT ---------- 238

水稻變率深層施肥機之研究

謝禮丞*[1]、欒家敏[2]、謝廣文[1]、黃禮棟[3]

[1]國立中興大學生物產業機電工程學系

[2]建國技術學院機電光系統研究所

[3]行政院農業委員會農業試驗所農工組

E-mail: lchsieh@nchu.edu.tw

摘要

本研究係以水稻爲目標作物，利用水稻插秧機做變率施肥之主體，同時採用深層施肥之方式。機械深層施肥較人工施肥可節省肥料用量約 40%，減少施肥 2－3 次，具有提高產量之潛力。本研究旨在研製一深層施肥裝置附掛在久保田 SPA85 乘坐式插秧機上，同時依土壤肥力做變率施肥，使其能達插秧與施肥同步進行。本施肥機採用台肥 5 號複合肥料，而機械施肥之施肥量約爲作物施肥手冊推薦量之 60%。本年研究係延續上年度成果，將全球衛星定位系統與變率施肥機做一結合，完成部份面板設計與程式撰寫，並繼續改良雛型機之缺點，增加一隔草板與改良肥料刮除板。

關鍵詞：水稻、全球衛星定位系統、深層施肥機、可變率技術。

一、前言

施肥技術之發展、品種之改良與灌溉設施之普及被稱爲近年來世界綠色革命之三大支柱。作物經以肥料的施用補充土壤養分之不足，或應用施肥方法使土壤中之養分供給狀態有利其收穫物生產或品質之提高，係由長年探索養分資源之運用(肥料學)、養分之土壤分佈(土壤學)、養分在土壤中之行動(土壤化學和土壤肥力論)和作物生理上之養分需求(作物營養學)所發展之技術。連(2001)指出土壤中缺少某種要素(土壤中最易缺乏氮、磷、鉀三要素)而施肥時，作物的生長量隨施肥量之增加而遞減(報酬遞減率)。

由於政府肥料價格穩定政策，農民一直享受比較低廉價格的肥料。另由於人工之缺乏和工資之上漲，農民爲求確保產量常偏好施用重肥，而施肥方式則趨於粗放。Reichenberger (1985)指出過量施肥結果，將造成 10%作物生產成本的增加。而政府的肥料補貼政策，臺灣農民之肥料成本/總成本比率已自 1956 年之 25.7% 降至 1976～1985 年之 8.4%。反之，其工資成本比率卻自 1956 年之 41%增至 1981～1985 年之 57% (連，2001)。但是，依據民國 85 年期臺灣農產品生產成本調查報告，得知以水稻進行肥培作業時，如將第一、二期作之蓬萊稻及在來稻加總平均，則肥料費用每公頃爲 5,696 元，約佔直接生產費用之 7.0%。依

據民國 90 年 8 月臺灣農產物價與成本月報，得知以水稻第一、二期作之蓬萊稻及在來稻加總平均，則肥料費用每公頃爲 6511 元，約佔直接生產費用之 7.7%，在這 5 年其間肥料費增加 14%。由於頗爲耗工之施肥工資尚未包括在內，顯示出肥料和人工作業佔生產成本有逐年增加之趨勢。近年來農民爲追求較高收量，對於化學肥料之施用量仍是有增無減。而過量營養元素進入地下水體或因逕流、沖蝕、排水而進入河川、湖泊等地面水體，易造成水污染及優養化。同時政府爲配合肥料產銷自由化政策之推動及加入世界貿易組織(WTO)因素，決定至民國 91 年取消肥料補貼政策，屆時農民水稻耕種成本將會增加。

爲減少農民在農業成本上之支出及符合世界農業之潮流，實施精準農業(precision agriculture)乃可行策略之一。其中，針對土壤做肥力的精準管理，屬於精準農業的主要項目。Pierce and Nowak (1999)對於土壤肥力精準管理的觀念提供如後：田區內之土壤肥力存在空間的變異(spatial variability)，此變異可以被正確的辨認，同時，對此一變異可有合理的解釋，也就是說會影響到作物的產量、品質或生態環境。

欲了解田區土壤養分變異，土壤取樣爲重要步驟之一，林等(2000)指出土壤取樣策略概分爲傳統混合取樣(traditional composite sampling)、基標土壤取樣(benchmark soil sampling)、方格法土壤取樣(grid sampling)、地景導向土壤取樣(landscape directed soil sampling)等。由取樣的土壤分析後得到的結果，經過 GPS 的定位與施肥機械的配合作業，可以進行田間的變率施肥。水稻變率深層機械施肥是依土壤之肥力狀況經計算施肥量，再加以深層施肥(8-10 cm)。水稻深層施肥在先進國家，如日本，已廣泛被稻農採用。在工商業快速發展導致人們降低從事農業生產意願，以及農村人口老化和國外進口農產品競爭之下，爲節省施肥勞力與減少施肥量以降低生產成本，減少過度施肥對環境的傷害、水質的污染及增加生產量(王等，1992)，發展水稻變率及深層施肥機械是值得採行的方法。

全球定位系統這項技術對於機電整合與無人操作自動化的農機有很大的助益，在未來農機發展必定占有十分重要的角色。本研究據此想藉由此一技術改良周(2002)研製的水稻變率施肥機，並配合土壤肥力狀態做可變率之施肥動作，期以達到水稻施肥機械化及精準化之目的。本研究方向爲利用現有的標準電腦配合作業系統與衛星定位接收器，以提供使用者擷取所在點位之資訊。而使用者可利用系統中所提供的系統資源進行處理與運算，了解現在點位與肥料施給量，再透過標準輸出介面控制 PLC 的作動。最後，藉由若干次實際田間操作的經驗與成果，改善現階段所發現的缺點。

二、方法簡述

本研究結合全球定位系統與變率施肥機，目前設定目標之流程如圖 1 所示。首先，係將衛星定位接收器與筆記型電腦連接，透過 RS232 的傳輸線作爲 NMEA0183 通訊協定的介質，再撰寫 Visual Basic 程式，設計出一面板與程式主體，以讓使用者能了解目前的所有訊息。本程式設計面板如圖 2 所示，此面板尙屬雛型，將來還會再加上其他功能選項，以建立更爲人性化的使用者介面。

本研究使用的材料爲：GARMIN GPS12(XL)接收機、IBM ThinkPad 筆記型電腦、PLC 書寫器、可變率深層施肥機及 Visual Basic 程式。

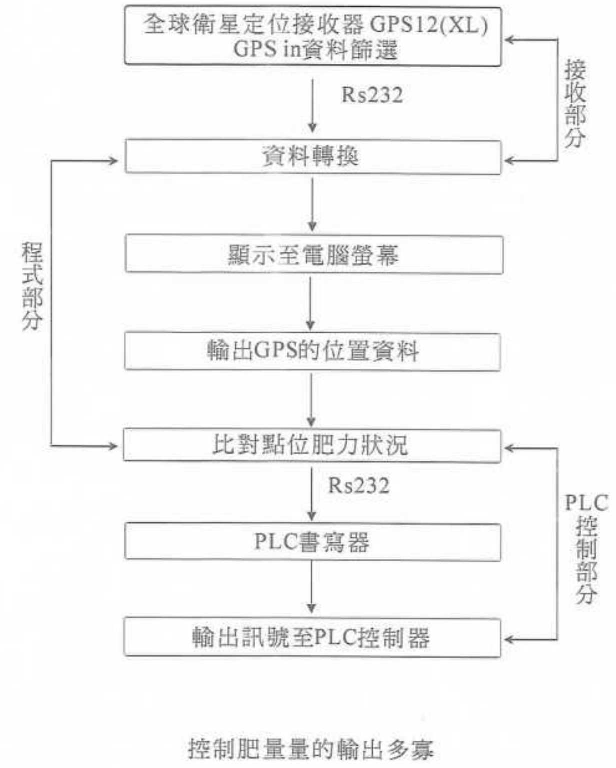


圖 1. 衛星定位與變率施肥結合之流程圖。

圖 2. 衛星定位與變率施肥整合之使用者介面。

離型機之機構改良部份分成兩部份進行，隔草板與肥料刮板。水稻收割時會留下切斷的稻桿於田中，讓其自然分解。但是因爲時間間隔不足，往往稻桿還未分解完成就要再次插秧。開溝器在開溝的同時稻株也會附著於上面，所以前幾次實驗都發生開溝器纏草的情形，當纏草太多時會讓肥料便無法落於溝中而是落在稻桿之上，而沒達到深層施肥的功能，故這改良便是針對纏草現象做改進。

在插秧機上方觀看插秧帶動施肥動作時，發現使用一年後，因爲離型機之製作並不是十分精細，施肥爪與施肥輪間的阻塞情況較全新時期嚴重，得經常下來清理。當時就紀錄了這項問題，之後推斷出是複合肥料粉末化的問題，當施肥爪轉動時與刮板接觸，由於施肥爪與刮板有間隙，轉動時部份粒狀進入間隙因而被壓碎造成粉末，粉末流進傳動軸造成摩擦阻力。當累積到一定量時便會使傳動軸的傳輸動力下降無法完全作動設定的行程，而造成施肥量的不足，因此改良一肥料刮板改善此一現象實屬必要。

三、結果與討論

初步完成衛星定位與變率施肥機之使用者介面，其主要要功能敘述於后：

1.通訊傳輸

此選項的功能包含了點位資料的傳輸與座標的轉換，點下此選項後能將全球衛星定位接收器(GPS 接收器)傳輸至電腦的訊號篩選，篩選出本程式所需要的相關資料，再透過公式的轉換將經緯度轉換成國家座標系統的投影單位，其顯示如圖 3 所示。

關於本研究的相關設定與接收器的使用如下:

(1)全球衛星定位接收器的爲 GARMIN GPS12(XL)接收機，接收器的最小單位爲 0.001 分，換算成臺灣地圖單位後，在東西方向約爲 1.84 m，南北方向約爲 1.69 m，若數值增大代表向東方偏移或向北方偏移。

(2)傳輸協定：以 NMEA-0183 的標準規格來傳輸訊號，NMEA-0183 是以傳輸句子的方式傳輸資料。

(3) 國家座標系統：臺灣大地基準(TWD)，內政部於民國 87 年公佈新座標系統

爲 TWD97，參考橢球體爲 IUGG 於 1980 年所公佈的參考橢球體，採用二度分帶橫麥卡脫投影(UTM)。

(4)橫麥卡脫投影(Mercator):在微小面積內方向與實地相似等形投影。

(5)地圖投影：乃將地球橢球體上之地形描繪至平面上之投影。臺灣地區位處中緯度，幅員呈南北狹長性，故我國採用的是二度分帶橫向麥卡脫投影法。橫麥卡托投影座標基本單位爲公尺非經緯度，GPS 接收機所接收的訊息乃經緯度座標，故要將接收下的點位套用到國家所繪製的地圖時，需經過座標的轉換才將 GPS 接收器收到訊號的座標成功的轉換到平面座標。

X				
WGS84	經度:	12040.687	緯度:	2407.160
TWD97	X軸:	217281.229	Y軸:	2668285.836

圖 3. 通訊傳輸狀態。

2.紀錄行走點位

選項功能爲紀錄變率施肥機所形走過的的點位及時間與肥料的輸出段數，以利將來追蹤與紀錄田區的狀況。目前所作完成的部分有紀錄格林時間、經度、緯度、UTM-X、UTM-Y。將來做到 PLC 部分後會再加上段數的紀錄。

3.資料庫系統

選項功能是與分析過土地肥力狀況的資料庫系統座連接，選擇資料庫的來源，並比對現在點位與資料庫系統中該點位所需要的肥量並與 PLC 控制系統作連結。

4.PLC 系統

當與資料庫系統連結後，能依資料庫系統所發送出的訊號比對肥料輸出的段數是否正確，以達到自動變率的效果。正在建構中。

施肥機所使用之可程式控制器(PLC)爲三菱 FX1N-24 機型，有 14 個輸入點及 10 個輸出點。目前已經設定六段施肥量，可以自動與手動變率。而雛型機使用伺服馬達加減速機帶動施肥爪位移，以改變施肥量。而伺服控制系統包括有伺服驅動器及伺服馬達。

改良之隔草板由不鏽鋼製成設計，如圖 4 所示，這是設計在插秧機浮船前方的機構。在稻桿纏住開溝器前就先將其攔下，當插秧機要迴轉時會將插植機構舉升起來，稻桿便自然的落下不會纏在隔草板之上。

新的刮板改採用鋼片爲刮板，利用分力的原理將設定肥料量以外的肥了刮開且並不會造成粒狀的粉化，如圖 5 所示。

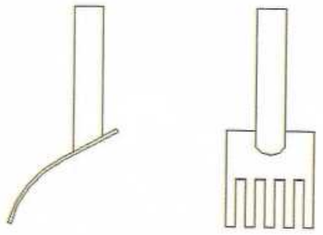


圖 4. 隔草板。

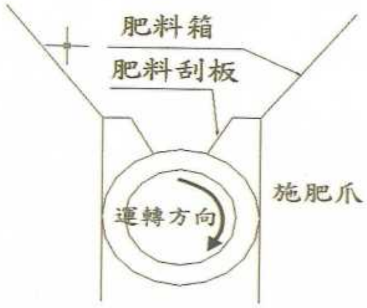


圖 5. 肥料刮板。

在民國 91 年的兩期稻作試驗結果，最大誤差量約 10%(第一期)，整體平均誤差少於 3%，但是因爲有纏草問題，實際施入田中的量與機器出來的量會有些許落差。今年度的第一期稻作，因爲雛型機在修改中，插秧前方才概約重組上場，誤差較去年大許多(表 1)，但是原因均能掌握，因此可以針對問題作調整再進行二期稻作的試驗。

發生數據誤差量之大的原因，便是這次改良的肥料刮板的探討源。

央苗後第一個月，施肥量多的田區稻作的生長的較為密實，以 N45 與不施肥對照為例，如圖 6 所示，顏色上無深淺的情形發生。

(2)78 號試驗田於 4 月 26 日之紀錄：插下秧苗後第二個月，從每塊田區的觀察沒有發現缺肥的現象，稻作的高度與顏色有明顯的區分，並依施下肥料量而有一定的變化，肥料量多的稻作長的高、顏色愈深。高度差的部分最明顯的不分在 N45 與不施肥的田塊，顏色則是施肥段數都有有明顯的分別，如圖 7、8 所示。

圖 6. 秧苗生長的差異。

圖 7. 稻作高低差。

圖 8. 426 顏色分布。

(3)78 號試驗田於 6 月 24 日之紀錄：插下秧苗後第四個月，稻作以近收割時期，稻作的高度落差很大，最高的與最低的差距到達 25 公分以上。在成熟度方面，未施肥的金黃色的稻穗下垂，而施肥量最大的田區還略帶青色，如圖 9 所示。結穗方面與施肥量有一定的關係，但是這比例有趨緩的現象。

圖 9. 6/24 N135 田區。

表 1. 92 年一期稻作施肥紀錄表。

田號	43B	43C	43D◎	39A★	39B	39D■	78B	78C◆	78D
總株數	21328	21804	20596	21528	21614	20920	17628	17176	15820
施肥點數	10664	10902	10298	10764	10807	10460	8814	8588	8588
單點施肥量(g)	6.06	3.03	9.09	3.03	9.09	6.06	3.03	6.06	9.09
理論總施肥量	64623.84	33033.06	93608.82	32614.92	98235.63	63387.6	26706.42	52043.28	78064.92
實際總施肥量	52800	29900	72600	28000	86600	56200	19300	47000	76070
誤差重量	11823.84	3133.06	21008.82	4614.92	11635.63	7187.6	7406.42	5043.28	-1994.92
誤差百分比 %	-18.30	-9.48	-22.44	-14.15	-11.84	-11.34	-27.73	-9.69	-2.56

◎第四桶有阻塞，並在承接時，漏掉許多，故僅供參考

★ 第三桶有阻塞現象 第三桶有阻塞現象 第三桶有延遲現象

四、結語

本研究係以水稻爲目標作物，利用水稻插秧機做變率施肥之主體，同時採用深層施肥之方式。機械深層施肥較人工施肥可節省肥料用量約 40%，減少施肥 2－3 次，提高產量。本研究旨在研製一深層施肥裝置附掛在久保田 SPA85 乘坐式插秧機上，同時依土壤肥力做變率施肥，使其能達插秧與施肥同步進行。本施肥機採用台肥 5 號複合肥料，而機械施肥之施肥量約爲作物施肥手冊推薦量之 60%。本年研究係延續上年度成果，將全球衛星定位系統與變率施肥機做一結合，完成部份面板設計與程式纂寫，並繼續改良雛型機之缺點，增加一隔草板與改良肥料刮除板。

五、誌謝

本項研究承蒙行政院農業委員會(89 遙測-4.1-糧-41(5), 90 農科-4.1.1-農-C2(2))及農委會農業試驗所 (91 農科-5.1.3-農-C2(C2), 92 農科-1.1.6-農-C1(C2))經費支持，謹藉以表示由衷感謝。

六、引用文獻

王明茂。1990。動力插秧機附掛施肥器之研究改良(一)。中國農工學報 36(4)：109-115。

王明茂。1994。水稻插秧兼深層施肥機之改良與示範。高雄區農業改良研究彙報 6(1)：53-68。

王明茂、洪阿田、章正忠、鐘慶龍。1992。動力插秧機附掛施肥器之改良與示範。p 205-211。八十一年農機研究發展與示範推廣報告。

王明茂、葉俊賢。1997。動力插秧機附掛施肥器之研究改良(三)。高雄區農業改良研究彙報 9(1)：60-71。

林木連，郭鴻裕，黃維廷，張明暉。2000。土壤變異之精準管理。p. 54-64。水稻精準農業(耕)體系之研究。楊純明、林俊義，主編。行政院農委會農試所，臺中縣。

連深。2001。我們的水田該減肥了。http://www.tari.gov.tw。

Pierce, F. J. and P. Nowak. 1999. Aspects of Precision Agriculture. Adv. in Agron. 67:1-85.

Radite, P. A. S., M. Umeda, M. Iida and M. Khilael. 2000. Variable Rate Fertilizer Applicator for Paddy Field. ASAE Paper No. 001156. St. Joseph, MI. U.S.A.

Reichenberger, L. 1985. The billion-dollar blunder. Spraying Systems Co. Wheaton, IL 60188, USA.

Yanai, J., C. K. Lee, M. Umeda and T. Kosaki. 2000. Spatial variability of soil chemical properties in the Paddy field. Soil Sci. Plant Nutr. 46(2)：473-482

Study on A Variable Rate Fertilizing System Using Underground Application for the Paddy Field

Li-Cheng Hsieh[1], Jar-Miin Luan[2], Kung-Wen Hsieh[1] and Li-Don Hwang[3]

[1]Deptartment of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC

[2]Institute of Mechatronoptic Systems, Chien Kuo Institute of Technology, Chang-Hua, Taiwan, ROC

[3]Division of Agricultural Engineering, Agricultural Research Institution, COA, Tiachung, Taiwan, ROC

E-mail: lchsieh@nchu.edu.tw

ABSTRACT

Rice is the target plant for the research and a rice transplanter was used as a variable rate machine to carry and apply variable amounts of fertilizer in the field. A machine driven underground applying skill was used and it could reduce 40% fertilizer application comparing with manual application. The applying times could be down 2 to 3 times as well, yet increased the yield. Therefore, a device for applying fertilizer underground was developed attaching to a Kubota SPA85 rice transplanter. A local composite fertilizer, Tai-Fei #5 (Taiwan Fertilizer Company, Kaohsiung, Taiwan), was used in the research. The amount of fertilizer applied was about 60% of the recommended dose from Taiwan Agricultural Research Institute. The research for this year continued to modify the prototype of variable rate fertilizer application system, connected GPS to the variable rate fertilizer application system partially. In addition, there was a separator attached to the system to avoid the residue of rice stroke surrounding the opener. A scrapper was designed and was added under the fertilizer tank to avoid the fertilizer jam as well.

Key words: Rice (*Oryza sativa* L.), Global Positioning System (GPS), Underground fertilizer application, Variable Rate Technologies (VRT).

水稻精準農業體系
精準農業之原則與實務管理—以農業試驗所水稻農場爲例
239-250, 2003

精準農業之原則與實務管理—以農業試驗所水稻農場為例

賴吉雄、楊清祥、陳邦華、陳志昇、劉嘉仁、吳惠卿、吳錫家、陳烈夫
行政院農業委員會農業試驗所農場管理組
E-mail: leevchan@wufeng.tari.gov.tw

摘要 -------- 240

一、前言 -------- 240

二、內容 -------- 241

三、結語 -------- 249

四、誌謝 -------- 249

五、引用文獻 -------- 249

ABSTRACT -------- 250

精準農業之原則與實務管理—以農業試驗所水稻農場為例

賴吉雄、楊清祥、陳邦華、陳志昇、劉嘉仁、吳惠卿、吳錫家、陳烈夫
行政院農業委員會農業試驗所農場管理組
E-mail: leevchan@wufeng.tari.gov.tw

摘要

精準農業是利用技術手段藉空間和時間的變異來進行耕作及田間管理，以改進農作物生產之效率及同時兼顧環境保護之應用科技，其支援相關技術主要爲全球定位系統、地理資訊系統、遙感探測技術、農耕資料庫、土壤資料庫、可變率技術、自動化農機操作系統、決策支援系統、動態田間資料收集裝置、管理資訊系統、農業專家系統、產量圖等。爲因應世界潮流及配合國內整體試驗研究需要，「水稻精準農業體系研究」先驅計畫特於農委會農業試驗所設置共同試驗農場，面積 10.83 公頃，共分 164 小區，每小區 25x25 平方公尺，以農場運作爲主體，辦理農場硬體規劃施設及農機整備，並引進相關概念與技術，研擬建立作業流程與管理體系，進行大面積水稻栽培。經 2000-2002 年之三年六期作田間產量資料結果顯示，目前的農耕管理作業符合精準農業之需求，可供各方來年規劃進一步試驗研究之參考。

關鍵詞：精準農業、水稻農場、實務管理。

一、前言

對於大多數農民來說，收穫季節來到前的幾個月總會令人感到焦慮不安，因爲在這段時間裡，天氣、土壤以及病害蟲等狀況之變化將會造成多大之損失農民無法預知。雖然農民可依靠以往之經驗及謹慎之推測來判斷情況的變化，但這種不確定感一直存在而沒有多大的改變。現今由於科技之發展可以精準農業生產之方式，即利用技術手段來因應可能會對農作物造成危害之不確定因素，或許有些農民仍感到懷疑但其態度正逐漸改變，並進行瞭解和熟悉此項新技術。精準農業是在作物生育空間上，以定位、定時、定量實施一整體配套之現代化農業操作技術與管理系統。在農作物生產方面其基本涵義是根據作物生長之土壤性狀，調節對作物之投入，即一方面調查田區內部之土壤性狀及生產力之空間變異，另方面確定農作物之產出目標，進行定位系統之診斷，進而施行優化之肥料與農藥配方，並以技術組裝農機具作爲科學之管理。藉此調整土壤之生產力，以最少或最節省的投入達到同等收益之產出，同時並改善環境，高效率地利用各類農業資源，取得經濟效益及環境效益。

迄今，國際上有關精準農業之研究獲得迅

速的發展，支援技術產品也不斷深化研究應用中，亦被廣泛承認是發展永續農業重要途徑之一。近年來我國對此亦漸重視，並由相關研究機關學校進行相關之試驗，惟每受限於農場規模，以往均爲小塊田區作試驗研究。現爲求擴大規模，農業試驗所自 2000 年起提供 10 公頃以上之農場試驗田，設置精準農業水稻農場，辦理大面積水稻栽培與農場作業管理體系之相關研究，及提供各學門專家做爲相關研究之標的。在各方配合下，工作進展順利，並獲致初步結果。至 2002 年持續調查獲得三年六期作之產量試驗資料，因本項試驗爲嶄新之多學門共同利用之田間試驗，其起初田間狀況、農場運作管理及相關之產量等資料，可作爲後繼新的科技技術投入與相關研究之重要參考依據。

二、內容

(一)精準農業之作業原則

精準農業是一種以利用現代知識及技術爲發展基礎之耕作管理系統，其套裝式完整運作需整合一系列新的技術，包括有全球定位系統(global positioning system)、地理資訊系統(geographic information system)、遙感探測技術(remote sensing technology)、農耕資料庫(cultivation database)、土壤資料庫(soil database)、可變率技術(variable rate technology)、自動化農機操作系統(automatic machine operation system)、決策支援系統(decision support system)、動態田間資料收集裝置(on-the-fly data collection devices)、管理資訊系統(management information system)、農業專家系統(expert system)、產量圖(yield mapping)等相關技術，從而定時獲取田區作物之產量及影響作物生長環境因素(土壤結構、土壤肥力、含水量、地形、氣候、作物生育情況、雜草及病蟲害)等各項實際空間及時間差異性之資料，進而分析影響田區作物產量差異之原因，採取技術上可行、經濟上有效之調控措施，對作物栽培管理按需要實施定位調控作業變量投入，作出科學之決策管理。

精準農業實際應用上必須結合三方面之技術：(1) 描繪變異性：最簡單的構思是計量田區之變異性並進行描繪，然後根據特定地點之差異，給予必須之施作。變異性可分爲空間性之變異、時間性之變異及預測性之變異三種。首先無疑是要對田區空間變異性之描述，因其會直接影響到田區在土壤肥力、作物生長與產量、雜草及病蟲害分布等資訊所繪製之田區變異圖上。在田區特定地點資訊之定位上可利用全球定位系統，對區域性變異則可藉助遙感探測技術來達成，其他如土壤取樣裝置、作物產量監測裝置、衛星或飛機所拍攝之影像資料等對田區變異圖製作極有幫助。其次是描述時間變異性，即對於空間變異性在時間上之變化描述，可透過地理資訊系統之技術來達成。最後是作一正確的預測性變異描述，如氣象預報或作物之生長活動狀態，預測性變異是最困難也是最重要的，可提供農業上之風險管理或農耕操作排程上。(2)可變率控制：爲配合田區特定地點對施作量要求的不同，而實行可變率施作機械。田區正確位置可由全球定位系統定位獲得，田區變異圖或即時感測器可提供正確變異的資訊，可變率控制系統即是結合前兩項資訊應用在施作機械上，使成爲可變率施作機械。(3)可變率管理之決策支援系統：決策支援系統可提供農民在耕作上對作物產量與環保問題之解決提供良策，即爲田區管理策略上的衝突點上找出一可行之方向，使系統最佳模式化。

(二)精準農業農場主要作業流程

精準農業包含三個實施階段：(1)確定田間管理事件，(2)制定對策，(3)實施對策。

其實施過程是在作業機具上裝設相關感應器來偵測作業時各小區塊作物之相關資料，再配合全球定位系統資料以繪製大面積田區相關資料分佈圖之數據，並進行田間土壤取樣，藉以建立土壤屬性與空間之關係。再將田間產量圖與土壤圖層在地理資訊系統軟體下作分析與判斷，以決定其間之相互關係。最後依空間分析關係建立田間耕作指示圖，使其具備自動化操控功能實施目的投入，以作精準農業之管理。

(三)農業試驗所水稻試驗農場之經營管理

本所農場於 2000 年一期作起規劃出相毗連之試驗田 20 塊田區約 10 公頃(每一田區面積均在 0.5 公頃以上)，依據本計畫整體試驗需要，進行大面積水稻栽培耕作管理作業。各期作均事先撰擬田間作業流程與工作內容，再與相關學門專家洽商編訂工作預定表據以實施。除 2000 年二期作 38、42 兩編號田區種植臺農 71 號外，所有期作所有田區全部採用水稻臺農 67 號爲供試品種。育苗移植方式依慣行農時插秧，田間各項作業均依事先商定之作業流程、作業方式與施肥、施藥用量，以適當農機具按時進行農耕作業管理，田間作業流程與工作內容詳情，請參閱前作「精準農業水稻試驗農場之建立與運作」一文之相關圖表。此外，還提供試驗田區作爲桿式噴藥車實地施噴測試場地，以完成 GPS 自動噴藥機之開發工作。

(四)繪製作物產量圖

精準農業的主要工作內容是繪製田間作物產量的空間分佈圖，該項作業實爲進行精準農業管理之基礎。從累積數年期之田間產量空間分佈圖資料，不僅可依據所設定之精準農業管理之目標，規劃適當之田間管理圖譜，也可用於細究導致田間作物產量發生空間分佈變異之原因，進行相關之土壤改良工作。本試驗農場在收穫時，先行將各編號田區分割成七～十二塊調查小區(田區編號分配示如圖 1)。爲瞭解各調查小區內的產量變異性，從各小區內四個逢機點以人工收割方式各取樣 25 株，共 100 株，先估算其取樣產量，然後同一編號田區內其餘稻株再配合整區機械採收。因此，各編號田區總產量(T)＝該編號田區內所有小區人工取樣總產量(ΣY_i)＋機械採收產量(Z)。而各編號田區總產量乘以小區取樣比率，可進而推算出該田區內各小區的產量，即 $T \times (Y_i \div \Sigma Y_i)$。各田區採收之濕穀分別以循環式乾燥機單獨烘乾作業，於水份含量降至 13 % 時出穀袋裝，逐袋過磅，計算稻穀產量後，再根據各田區實際面積以換算成各田區及各小區公頃產量。最後製成耕地產量圖(圖 1-6)，判斷高低產量的確定位置，再與相關資料比對提供農場經營決策之參考。

(五)試驗田區之產量變異

由試驗資料之結果顯示(表 1)，2000 年一期作各田區產量之變異值在 2.75-15.67 範圍之間，其中以 80 號田之變異值 15.67 最大，而以 38 號田之變異值 2.75 最小；2000 年二期作各田區產量之變異值在 3.36-11.25 範圍之間，其中以 87 號田之變異值 11.25 最大，而以 82 號田之變異值 3.36 最小。2001 年一期作各田區產量之變異值在 2.32-24.01 範圍之間，其中 81 號田之變異值 24.01 最大，而以 78 號田之變異值 2.32 最小；2001 年二期作各田區產量之變異值在 3.65-20.49 範圍之間，其中 79 號田之變異值 20.49 最大，而以 42 號田之變異值 3.65 最小。2002 年一期作各田區產量之變異值在 1.72-11.27 範圍之間，其中以 89 號田之變異值 11.27 最大，而以 43 號田之變異值 1.72 最小；2002 年二期作各田區產量之變異值在 3.26-15.10 範圍之間，其中以 80 號田之變異值 15.10 最大，而以 42 號田之變異值 3.26 最小。由此可知，不同期作下不同田區間以及各田區內小區間都有充足的變異性，且變異程度仍多少有別，故於 2002 年一期作開始選定 43、81、83、87 號田四區作變量施肥共同試驗田區之用。

表 1. 不同期作下各田區內小區間之水稻產量變異

Table 1. Variation among different fields and among plots within field for rice yields under different cropping seasons

Crops	38	39	42	43	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
	Coefficient of Variation(%)																			
2000 I	2.75	12.80	3.22	12.44	7.08	4.69	5.68	12.48	4.72	4.15	15.67	4.36	8.54	7.98	7.35	4.19	6.02	8.89	3.76	4.48
2000 II	7.34	4.95	7.65	10.11	4.85	10.25	6.47	6.68	4.77	9.17	7.84	5.55	3.36	7.78	7.24	4.33	2.84	11.25	4.83	7.51
2001 I	10.60	3.21	6.99	16.42	6.36	4.14	5.67	3.59	2.32	3.80	9.43	24.01	2.38	18.26	4.39	3.44	4.68	17.98	2.76	3.89
2001 II	18.65	13.13	3.65	11.10	8.41	10.71	9.42	4.17	5.94	20.49	10.05	12.88	9.19	13.79	8.15	10.61	10.30	12.04	5.38	11.50
2002 I	5.48	3.70	5.52	1.72	6.24	5.63	4.37	8.12	4.80	9.81	4.70	5.12	9.02	6.12	7.43	9.56	4.16	4.90	7.12	11.27
2002 II	11.87	10.81	3.26	5.79	5.92	4.87	5.83	7.78	4.13	6.04	15.10	7.10	-	10.90	3.76	4.22	2.83	8.31	7.42	6.23

-：表示休耕

(A)

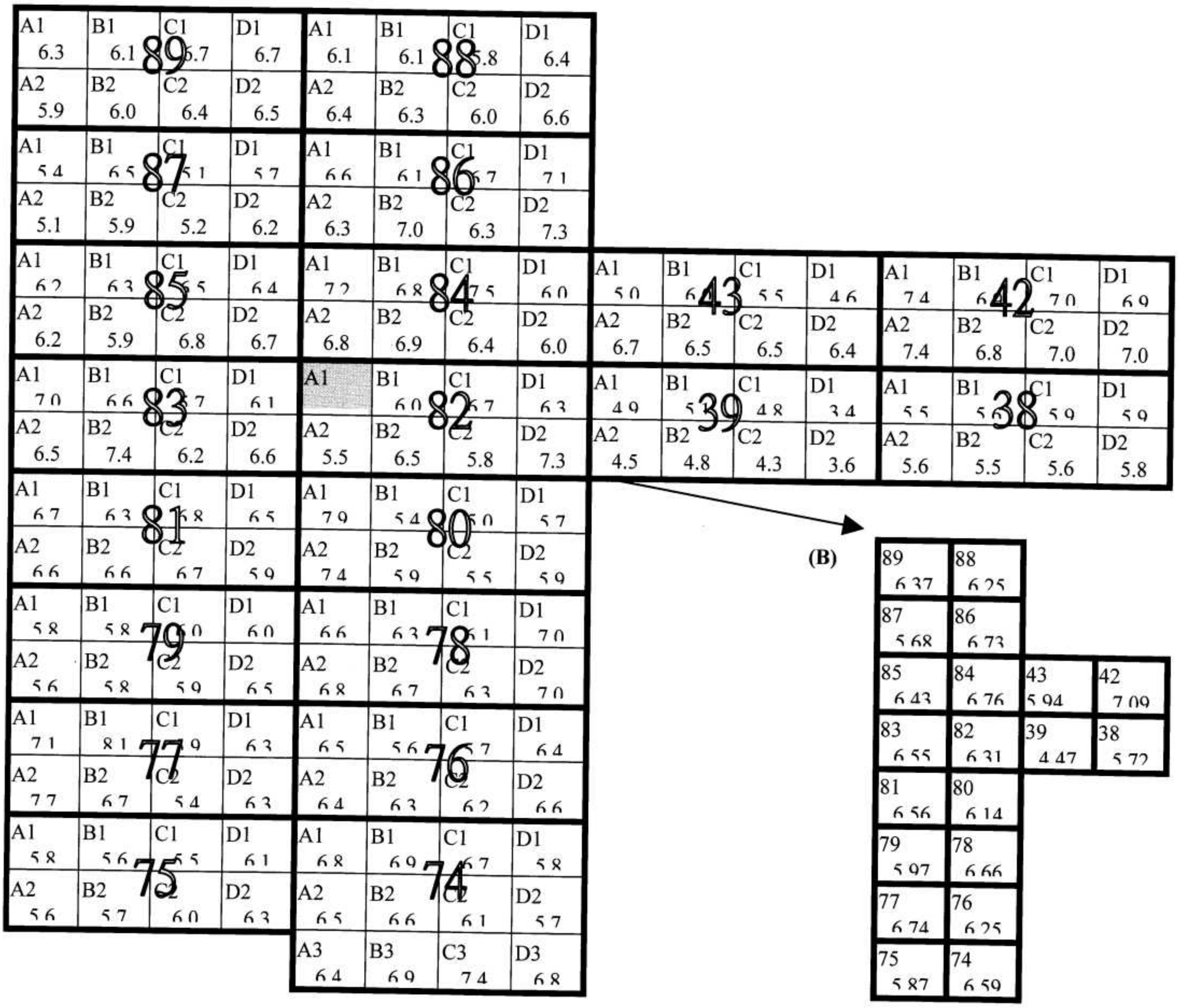


圖 1. 2000 年一期作水稻(A)小區產量圖，(B)田區平均產量圖。(1000 公斤/公頃；灰色區域為氣象站)

Fig. 1. (A) Plot yield map and (B) averaged yield map of rice in the first cropping season of 2000. (1000kg/ha; grey area is the meteorological station)

(A)

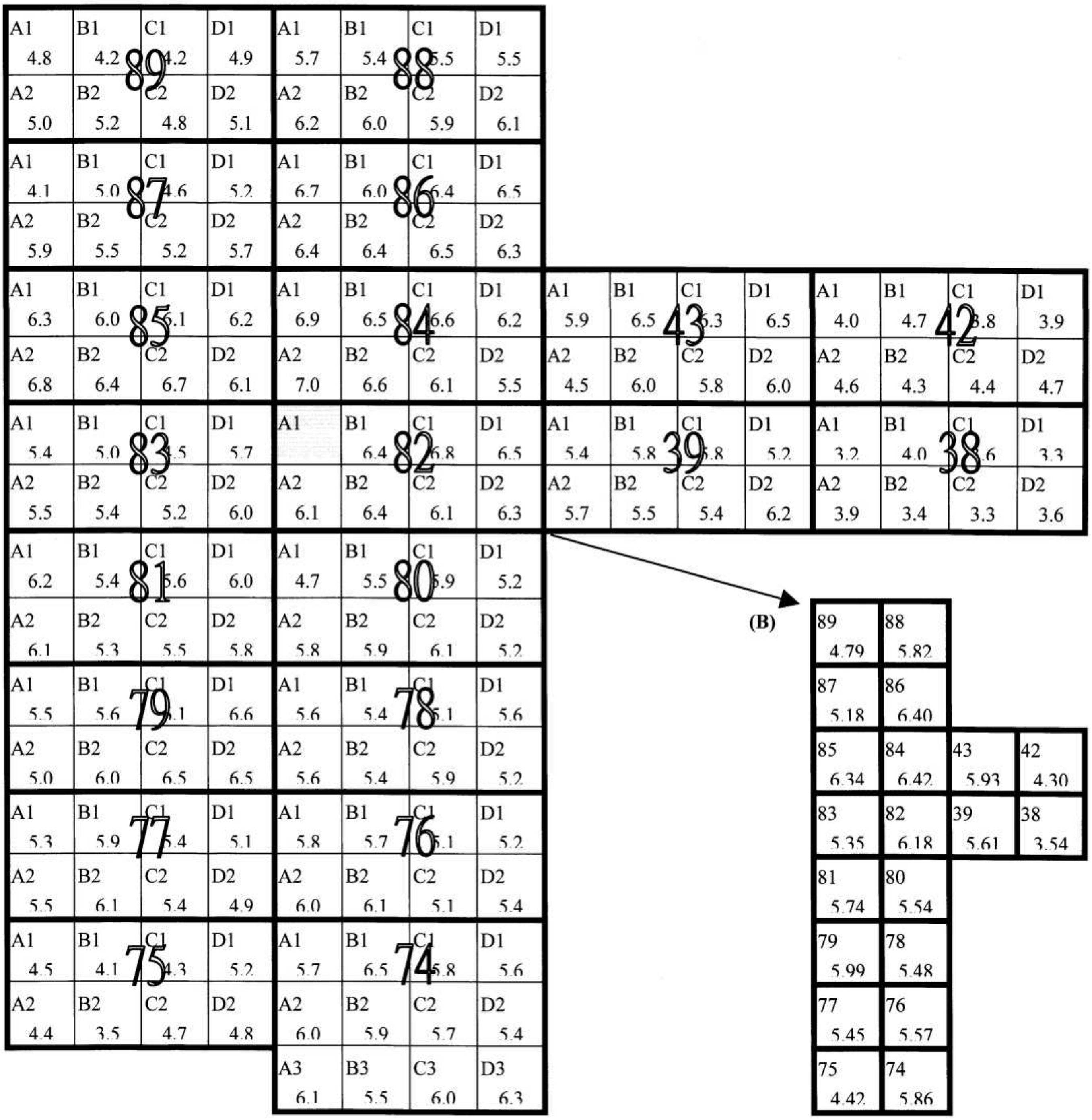


圖 2. 2000 年二期作水稻(A)小區產量圖，(B)田區平均產量圖。(1000 公斤/公頃；灰色區域為氣象站)

Fig. 2. (A) Plot yield map and (B) averaged yield map of rice in the second cropping season of 2000. (1000kg/ha; grey area is the meteorological station)

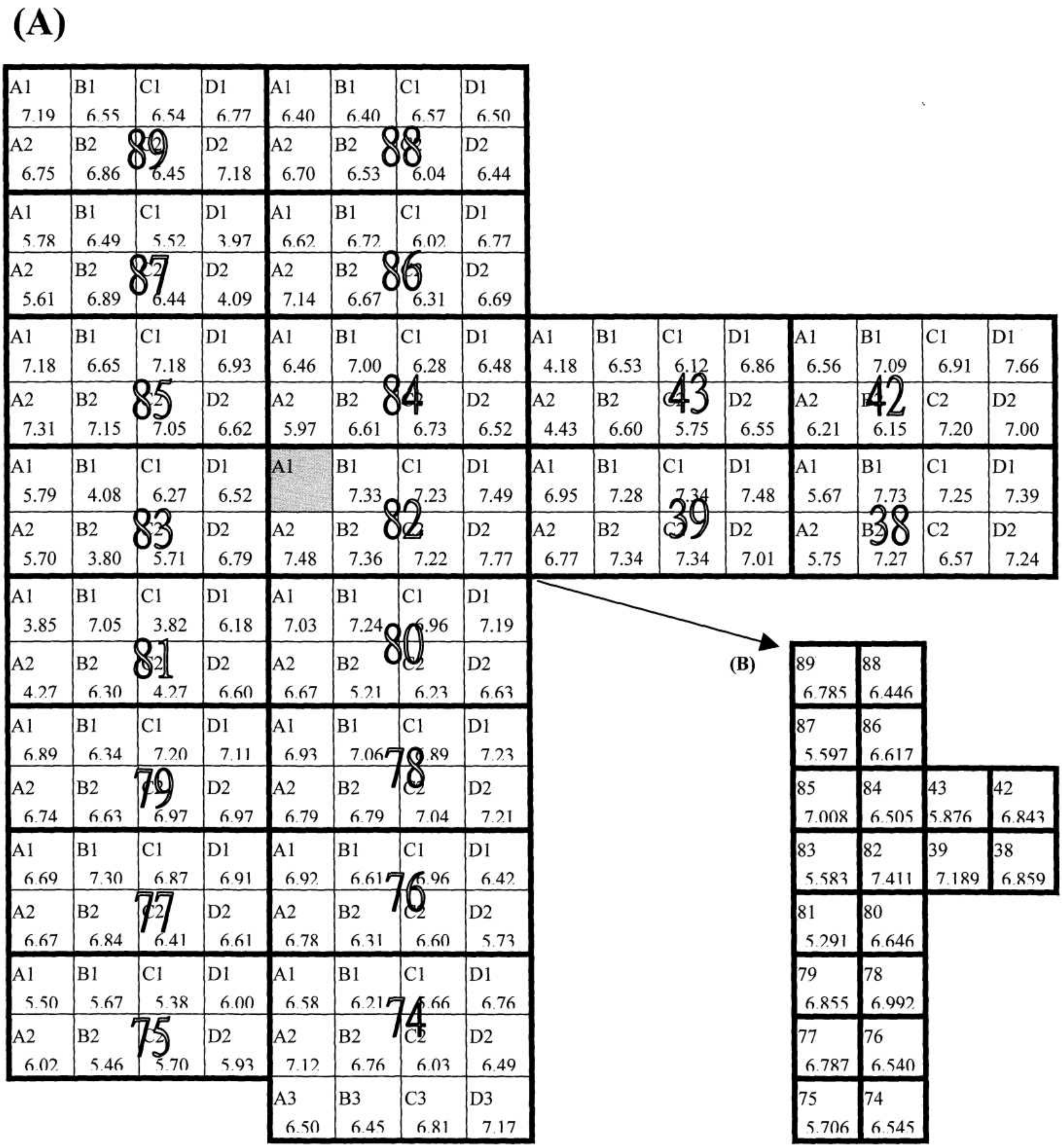


圖 3. 2001 年一期作水稻(A)小區產量圖，(B)田區平均產量圖。(1000 公斤/公頃；灰色區域為氣象站)

Fig. 3. (A) Plot yield map and (B) averaged yield map of rice in the first cropping season of 2001. (1000kg/ha; grey area is the meteorological station)

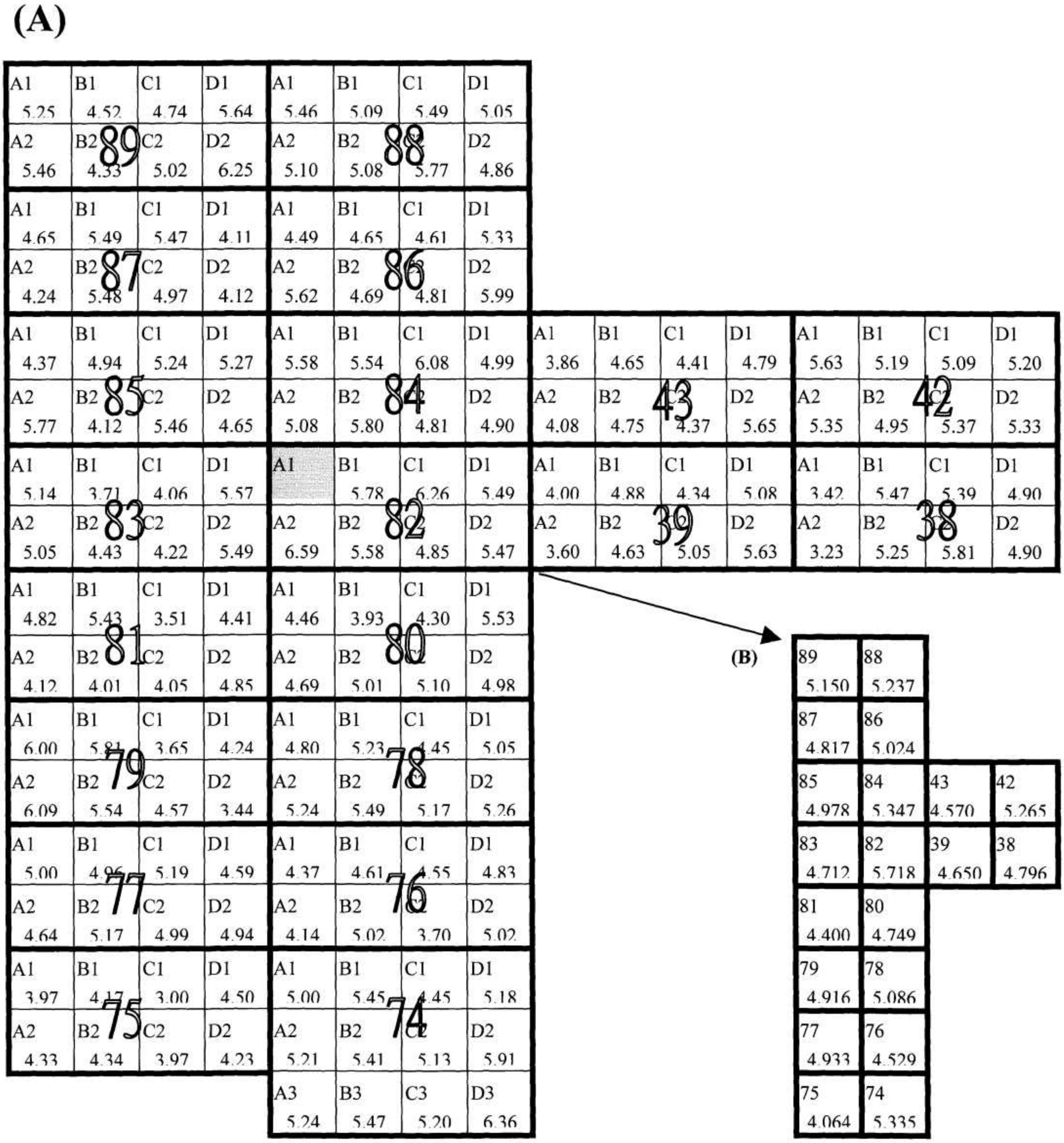


圖 4. 2001 年二期作水稻(A)小區產量圖，(B)田區平均產量圖。(1000 公斤/公頃；灰色區域為氣象站)

Fig. 4. (A) Plot yield map and (B) averaged yield map of rice in the second cropping season of 2001. (1000kg/ha; grey area is the meteorological station)

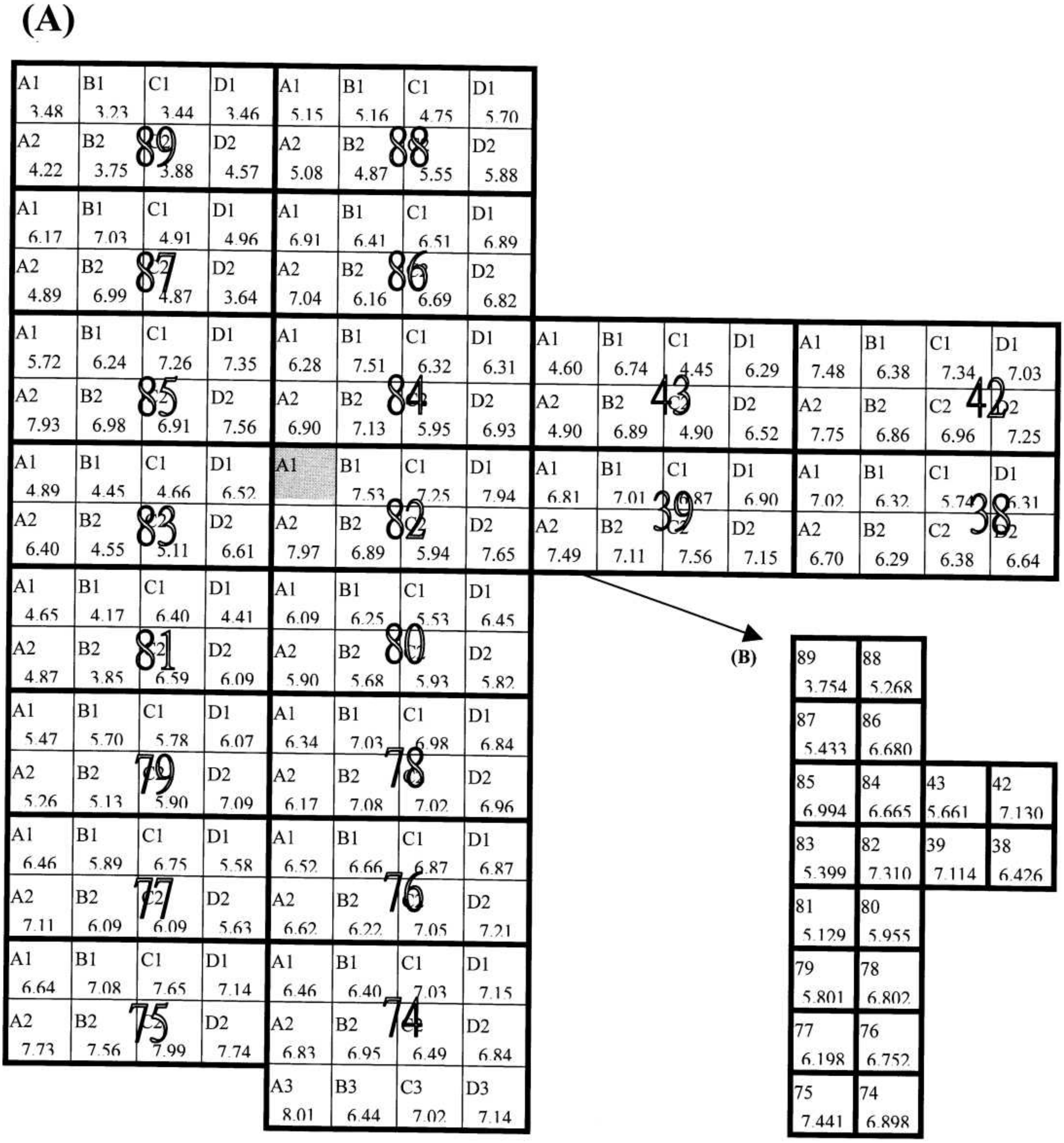


圖 5. 2002 年一期作水稻(A)小區產量圖，(B)田區平均產量圖。(1000 公斤/公頃；灰色區域為氣象站)

Fig.5. (A) Plot yield map and (B) averaged yield map of rice in the first cropping season of 2002. (1000kg/ha; grey area is the meteorological station)

(A)

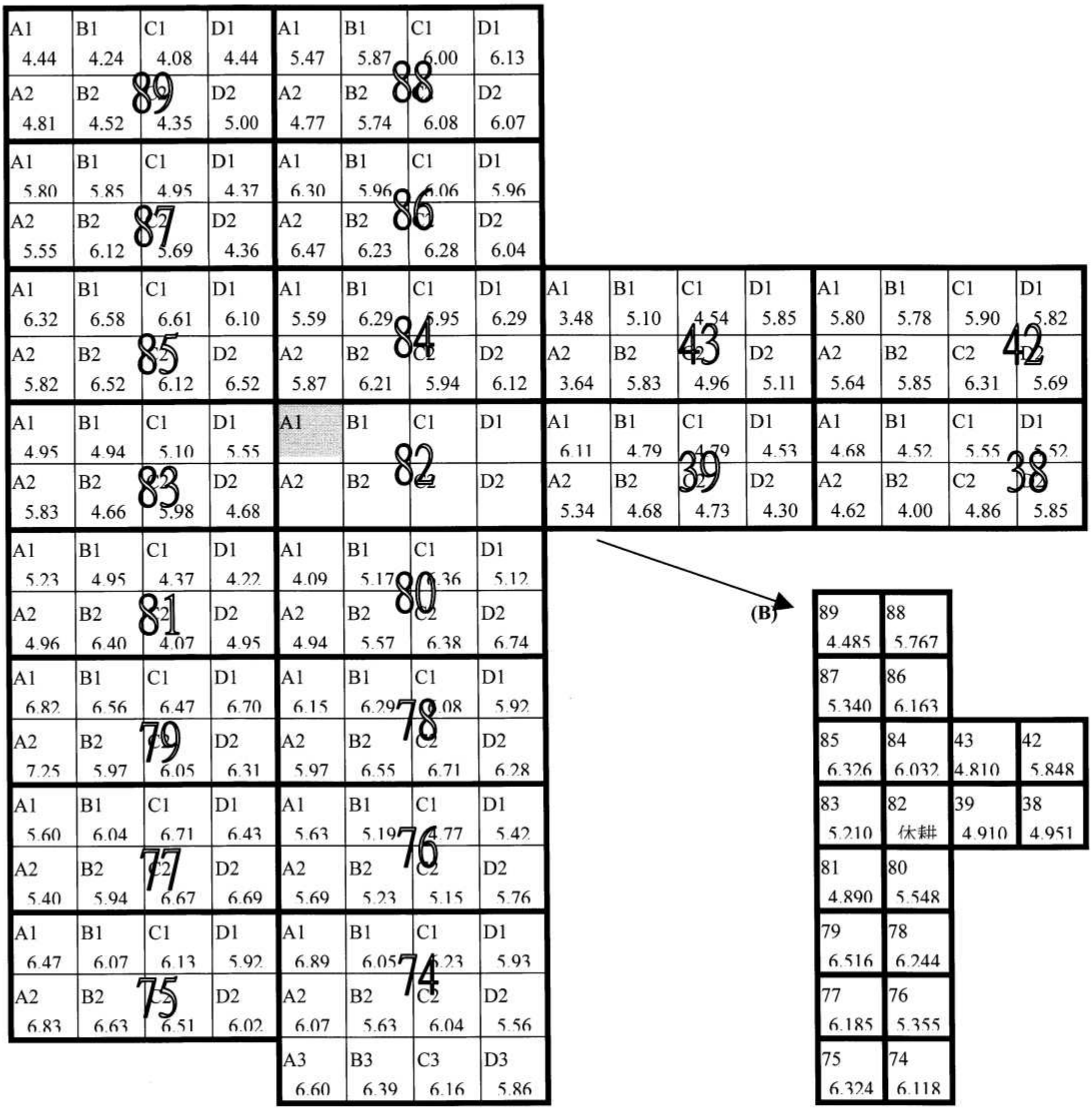


圖 6. 2002 年二期作水稻(A)小區產量圖，(B)田區平均產量圖。(1000 公斤/公頃；灰色區域為氣象站)

Fig.6. (A) Plot yield map and (B) averaged yield map of rice in the second cropping season of 2002. (1000kg/ha; grey area is the meteorological station)

三、結語

農業是一多方面之綜合體，影響因素繁多，時空差異和變異性大，生產穩定性和可控制性差，易遭受氣候、逆境及病蟲害等之侵襲，因此農業經營管理和決策的許多方面要求考慮空間因素之變化及爲必要之因應。作物之生產既涉及到廣泛的地域空間及時空變異之生態環境，從技術角度來看，需要更精細之認識及管理農田之空間資源，謀求基於空間變異之資訊，實施管理決策階層逐步精細化，又需兼顧實施方案之技術經濟與環境效益之可行性評估。就產業經營者而言，在進行精準農業時，應不只是單純謀求技術上之精準，應同時考量技術上之可行性，更要考慮成本、利潤及環境效益之系統優化目標。實際上現有農業應用之全球定位系統及其他支援系統也還未能達到精準技術實用上之要求，將來也不單只求滿足精準之層次上，而是要環繞系統管理決策之整體優化爲目標，實施空間變異管理尺度之合理精細化。將精準農業直接落實於田間之決策者或生產者(一般爲農民或企業化經營者)，提高生產者對精準農業管理的認識、態度與技能，實爲精準農業實際運用之主要關鍵。本所農場積極參與田間試驗，讓工作人員對此技術有理性之認識，這不僅可以減少農藥及肥料之使用次數、用量，也可提高使用效率，藉此構築成集約化精準農業管理之重要部分，以提昇技術水準供農場決策管理階層之用，將有助於嗣後農場人力運作安排、物料應用整備、農機具之改進調派以及農場整體操作管理之改進，預料將可使我國農業生產技術繼農業機械化後，邁向另一更高境界之指標。

四、誌謝

本研究承蒙行政院農業委員會補助經費(89-遙測-4.1-糧-41，90 農科-4.1.1-農-C2，91 農科-5.1.3-農-C2，92 農科-1.1.6-農-C1)及其他各領域專業之指導協助，特此致謝。

五、引用文獻

王立平。1998。精確農業--一種新型農業。農業信息探索 2：1。

王克林、李文祥。2000。精確農業發展與農業生態工程創新。農業工程學報 16：5-8。

汪懋華。1999。精細農業發展與工程技術創新。農業工程學報 15：1-8。

林俊義、楊純明。1999。水稻精準農業(耕)體系之研究。p.2-5。行政院農業委員會農業試驗所，臺中縣。

楊純明。1999。發展精準農業之淺見。技術服務 10：2-8。

楊純明、林俊義。2002。應用於水稻精準農業體系之知識與技術。p.194-204。行政院農業委員會農業試驗所，臺中縣。

劉天成。2000。我國精準農業的發展方向與策略。農政與農情 91：33-36。

劉剛。2000。精細農業的技術組成、決策分析及在我國的應用實踐。農業現代化研 21：57-59

劉愛民、封志明。1999。現代精確農業。科技報導 11：1-5。

賴吉雄、楊清祥、陳邦華、陳志昇、劉嘉仁、陳烈夫、呂秀英。2001。精準農業水稻試驗農場之建立與運作。中華農業研究 50：77-87。

Blackmore, S. and M. Moore. 1999. Remedial correction of yield map data. Precision Agriculture 1:53-66.

Pierce, F. J. and P. Nowak. 1999. Aspects of precision agriculture. Advances in Agronomy 67:1-85.

Principles and Practice of Rice Farming Management for Precision Agriculture at ARI

Chi-Hsiung Lai, Ching-Hsiang Yang, Bang-Hua Chen, Chih-Sheng Chen,
Chia-Jen Liu, Huen-Chang Wu, His-Chia Wu and and Lit-Fu Chan
Farm Management Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan
E-mail: leevchan@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

Precision agriculture is the application of technologies and principles to manage spatial and temporal variability associated with all aspects of agriculture production for the purposes of improving crop performance and environmental quality. Success in precision agriculture is related to how well it can be applied to assess, manage, and evaluate the space-time continuum in crop production. Its relevant techniques included the global positioning system, geographic information system, remote sensing technology , cultivation database, soil database, variable rate technology, automatic machine operation system, decision support system, on-the-fly data collection devices, management information system, expert system and yield mapping. To comply with the world trend and rebuild a new fact for Taiwan, we conducted a pilot project 'Studies on Precision farming System for Rice' at Agriculture Research Institute. The 10.83ha area of rice field was set up for functioning and operating precision farming. The field was composed of 164 adjacent blocks and each block was 25×25 square meter. Farmland is basal while proper management is essential to the success of precision agriculture. In order to lower the production cost and enhance the compatibility of the crop, this proposal concerned the adoption of improved mechanization techniques, modernized information system, and improved farm management skills to the large-scale culture of rice. Through improvement work during the experiments of six cropping seasons in 2000-2002, the present farm management could satisfy the requirement of precision agriculture. It is concluded that this proposal could lead to development of the potential system.

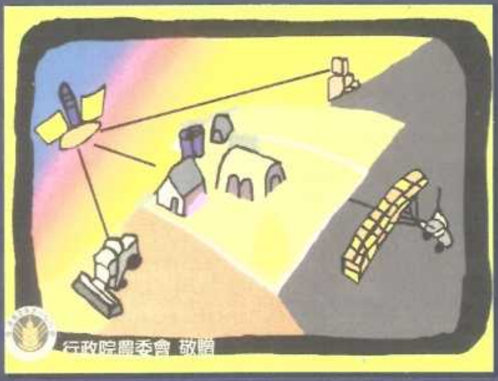
Key words: Precision agriculture, Rice farming, Practical management.

名詞索引

土壤性質　81, 82, 84, 86.
土壤肥力診斷　121, 122, 123.
水稻　74, 75, 77, 78, 79, 89, 90, 91, 93, 94, 106~118, 121~131, 133~138, 140, 142, 143, 168, 169, 171, 172, 173, 188~191, 194~204, 231~234, 237.
水稻生長模式化　14.
水稻田　61~63, 67, 69.70.
水稻病害　162.
水稻產量　43, 44, 48~52, 54, 56~58.
水稻農場　239, 240, 241.
水稻精準農業體系　2, 11.
水稻聯合收穫機　176~178, 180, 184, 185.
可變率技術　232.
白葉枯病　162, 163, 164, 165.
光譜指數　14, 15, 17, 18,19.
光譜特徵　14~19, 21.36~40
全球定位系統　220, 221.
全球衛星定位系統　232, 237.
地理資訊系統　220.
多元直線複迴歸　36, 40.
多光譜影像　188~192, 194, 195. 197, 200~204.
即時動態定位系統　188, 194.
決策系統　134, 135, 137, 138, 142.
波段濾鏡　74, 98, 99.
直線複迴歸　14, 15, 16, 21.
空間變異　81, 82, 83, 86.
空載　98.
肥料深施　106, 108, 11~114.
施肥　134~143.
相關係數　36, 39, 40.
害蟲　168~173.
差分全球定位系統　208, 210.
迴歸分析　44, 45, 49, 50, 57.
高光譜影像　73~75, 77~79, 97~99, 101~103.
高解析反射比光譜　14.
族群動態　168.
桿式噴藥車　220, 223, 224, 229.
深層施肥機　232, 233, 237.
產量　27, 28, 29, 31, 32.
產量監測器　176~182.
植被反射光譜　36, 38, 41.
植被指數　75.
氮肥　98.
氮素　74, 75.
氮素含量　90, 91~94.
葉面積指數　27.
葉綠素測計　89~94.
葉綠素總量　90~93.
資料庫　145~147, 158, 159.
實務管理　239, 240.
精準施肥　121, 122.
精準農耕　2, 3, 6, 7, 8, 9, 1~11, 73~75, 77~79, 98, 99, 101~103, 145~147, 158, 159, 162, 164, 188, 192, 200, 210, 220~223, 228, 229, 239, 240, 241, 242, 249.
網路　146, 158.
蒸發散　62, 63, 64, 66, 67, 70,71.
遙測　26, 37, 28, 32. 43, 44, 45, 48, 49~51, 54, 56, 57, 58. 61~66, 70, 71, 188~191, 195, 201, 203, 204.
遙感探測　81, 82., 98, 103.
標準差植被指數　27.

模式化　25, 26 31.
潛熱　62~65, 67.
穀流感測器　176~185.
稻田　208.
稻株氮素含量　36, 37, 40.
稻熱病　162, 163, 164, 165.
穗肥　106~108, 110~117.
變率施噴　220, 224~229.
變率噴霧　208.

統一編號
1009202727



水稻精準農業體系

ISBN 957-01-4787-3

定 價：新台幣400元